

VICENTE DE PAULO CAMPOS GODINHO

**FLUXOS DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO EM SOLO ARENOSO DE
CERRADO, SOB *Eucalyptus camaldulensis*, INFLUENCIADOS
PELO MODO DE APLICAÇÃO DO FERTILIZANTE
NITROGENADO E POTÁSSICO**

Tese apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
exigências do Curso de Fitotecnia,
para obtenção do título de "*Doctor
Scientiae*".

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
NOVEMBRO - 1996

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

G585f
1996

Godinho, Vicente de Paulo Campos, 1963-

Fluxos de nitrogênio e potássio em solo arenoso de cerrado, sob *Eucalyptus camaldulensis*, influenciados pelo modo de aplicação do fertilizante nitrogenado e potássico / Vicente de Paulo Campos Godinho. - Viçosa : UFV, 1996.
67p. : il.

Orientador: Nairam Félix Barros

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa

1. Solos - Fertilidade. 2. Solos - Teor de nitrogênio - Mineralização. 3. Solos - Teor de potássio. 4. Solos - Nitrogênio - Recuperação. 5. Solos - Potássio - Recuperação. 6. Eucalipto - Nutrição. 7. Eucalipto - Adubação nitrogenada. 8. Eucalipto - Adubação potássica. 9. Eucalipto - Crescimento. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD. 19.ed. 631.422

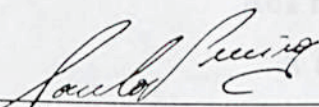
CDD. 20.ed. 631.422

VICENTE DE PAULO CAMPOS GODINHO

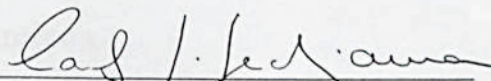
**FLUXOS DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO EM SOLO ARENOSO DE
CERRADO, SOB *Eucalyptus camaldulensis*, INFLUENCIADOS
PELO MODO DE APLICAÇÃO DO FERTILIZANTE
NITROGENADO E POTÁSSICO**

Tese apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
exigências do Curso de Fitotecnia,
para obtenção do título de "*Doctor
Scientiae*".

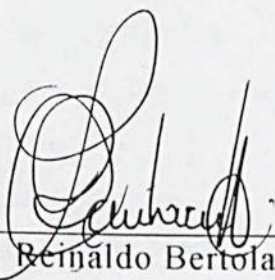
APROVADA: 24 de outubro de 1996



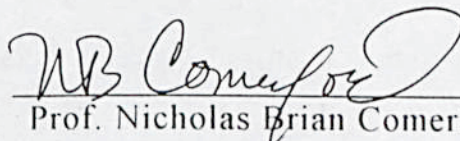
Prof. Paulo Roberto Gomes Pereira
(Conselheiro)



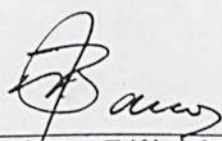
Prof. Carlos Sigmeyuki Sedyama
(Conselheiro)



Prof. Rinaldo Bertola Cantarutti



Prof. Nicholas Brian Comerford



Prof. Nairam Félix de Barros
(Orientador)

AGRADECIMENTO

Aos meus filhos, Paulo Tadashi e Carolina Mieko.

À minha esposa, Marley.

Aos meus pais, Jair (*in memoriam*), Marcos e Elia.

A todos os meus amigos.

Ao professor Nairam Felix de Barros, pela orientação, cordialidade e dedicação.

Aos professores Benedito Bertoldi Cantarini, Paulo Roberto Gomes Pereira, pela amizade e dedicação.

Aos professores Carlos Sigueyuki Sadiyama e Nicholas Euan Comerford, pelas valiosas sugestões e contribuições.

Aos companheiros de trabalho, Domingos, José Luis, Cardoso, José Carlos, José Roberto, Gastão, Pedro Leis, Maria e Vicente, e a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para realização deste trabalho.

AGRADECIMENTO

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realização do Curso.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, pela oportunidade de término do Curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudo.

À Mannesmann Florestal, nas pessoas de Ériko, Ronildo, Márcio Diniz e Cecílio, e a todos os funcionários da Fazenda Campo Alegre envolvidos neste trabalho.

Ao professor Nairam Félix de Barros, pela orientação, cordialidade e dedicação.

Aos professores Reinaldo Bertola Cantarutti, Paulo Roberto Gomes Pereira, pela amizade e dedicação.

Aos professores Carlos Siguelyuki Sedyama e Nicholas Brian Comerford, pelas valiosas sugestões e contribuições.

Aos companheiros de trabalho, Domingos, José Luís, Cardoso, José Carlos, José Roberto, Geraldo, Pedro Lelis, Mara e Vicente, e a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

VICENTE DE PAULO CAMPOS GODINHO, filho de Jair Pereira Godinho e Elia Campos Godinho, nasceu em Belo Horizonte-MG, em 28 de janeiro de 1963.

Em março de 1984, ingressou no Curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Federal de Viçosa, graduando-se em julho de 1988.

Em setembro de 1989, iniciou o Curso de Mestrado em Fitotecnia, na Universidade Federal de Viçosa, concluindo-o em maio de 1992.

Em abril de 1992, ingressou no Curso de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de tese em outubro de 1996.

Em dezembro de 1994, foi contratado como pesquisador, pela EMBRAPA, sendo lotado no Centro de Pesquisa Agroflorestal de Rondônia (CPAF- Rondônia).

4. CONCLUSÕES	19
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20

FLUXO PARCIAL DE NITROGÊNIO E DE POTÁSSIO EM SOLO ARENOSO DE CERRADO, SOB POVOAMENTOS DE <i>Eucalyptus camaldulensis</i> , INFLUENCIADO PELO MODO DE APLICAÇÃO DE ADUBO NITROGENADO E POTÁSSICO	24
---	----

RESUMO	24
ABSTRACT	25

1. INTRODUÇÃO	26
---------------------	----

2. MATERIAL E MÉTODOS	28
-----------------------------	----

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
---------------------------------	----

3.1. NÍVEL	Página
------------------	--------

EXTRATO	vii
---------------	-----

ABSTRACT	ix
----------------	----

INTRODUÇÃO	1
------------------	---

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	4
----------------------------------	---

CRESCIMENTO E RECUPERAÇÃO DE N E K POR <i>Eucalyptus camaldulensis</i> , CULTIVADO EM SOLO ARENOSO DE CERRADO, EM RESPOSTA AO MODO DE APLICAÇÃO DE ADUBO NITROGENADO E POTÁSSICO	6
--	---

RESUMO	6
--------------	---

ABSTRACT	7
----------------	---

1. INTRODUÇÃO	8
---------------------	---

2. MATERIAL E MÉTODOS	9
-----------------------------	---

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
---------------------------------	----

3.1. Crescimento das plantas.....	11
-----------------------------------	----

3.2. Concentração, conteúdo e eficiência de utilização de nutrientes	15
--	----

3.3. Recuperação dos nutrientes adicionados	18
---	----

4. CONCLUSÕES	19
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20
FLUXO PARCIAL DE NITROGÊNIO E DE POTÁSSIO EM SOLO ARENOSO DE CERRADO, SOB POVOAMENTOS DE <i>Eucalyptus camaldulensis</i> , INFLUENCIADO PELO MODO DE APLICAÇÃO DE ADUBO NITROGENADO E POTÁSSICO	24
RESUMO	24
ABSTRACT	25
1. INTRODUÇÃO	26
2. MATERIAL E MÉTODOS	28
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
3.1.N total	32
3.2.N inorgânico	34
3.3.K disponível	42
4. CONCLUSÕES	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
RESUMO E CONCLUSÕES	51
APÊNDICE A	54
APÊNDICE B	61

INTRODUÇÃO

O Brasil possui aproximadamente 3,4 milhões de hectares reflorestados com espécies do gênero *Eucalyptus*, correspondendo a cerca de 52% das florestas implantadas (SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICUTURA - SBS, 1992). Geralmente, estas populações ocupam solos muito intemperizados e lixiviados, portanto, de baixa fertilidade natural. Entretanto, a manutenção de produtividade relativamente alta nesses ecossistemas decorre da baixa exigência nutricional do eucalipto (NOVAIS et al., 1979) e requer emprego de práticas adequadas de manejo e de fertilização mineral. A manutenção da boa produtividade dos eucaliptais depende, ainda, da eficiente reciclagem e acumulação de nutrientes na biomassa florestal, o que eleva a importância da adoção de métodos de manejo para conservação dos nutrientes. Nesse sentido, nutrientes mais facilmente perdidos do ecossistema devem merecer especial atenção. Entretanto, as técnicas de adubação não têm sido discriminadas entre os tipos de solos, as espécies e a época de plantio. Desta forma, o comportamento dos nutrientes aplicados no ecossistema deve merecer especial atenção, para subsidiar a definição dessas técnicas.

O nitrogênio, além de ser, em geral, o nutriente exigido em maiores quantidades pelas plantas, é também um dos mais facilmente perdidos do solo, quando aplicado via fertilizantes (MENGEL e KIRKBY, 1982; RAISON et al., 1992; SALARDINI et al., 1992).

A adubação nitrogenada em plantios de eucalipto no Brasil tem sido uma prática freqüente (BARROS et al., 1984, 1990). Em geral, esse nutriente é aplicado em formulações NPK na época de plantio da muda no campo, ou juntamente com o K alguns meses após o plantio. Desses nutrientes, BARROS et al. (1984) e BARROS et al. (1990) mencionaram que as menores respostas do eucalipto em crescimento têm sido ao nitrogênio, a despeito de essa cultura absorver até 700 kg de N/ha durante o seu ciclo (REIS e BARROS, 1990).

O porquê de o eucalipto mostrar pouca resposta à aplicação de nitrogênio não foi ainda esclarecido. Entretanto, algumas hipóteses podem ser levantadas: 1) o atendimento das necessidades da cultura pelo N liberado da decomposição da matéria orgânica, estimulada por práticas de preparo do solo; 2) as menores necessidades do nutriente em fases mais avançadas do ciclo; 3) as perdas do N aplicado por lixiviação e volatilização; e 4) as quantidades aplicadas seriam demasiadamente baixas, para que se verifiquem elevadas taxas de respostas. Em relação à terceira hipótese, a maneira de aplicação do nutriente, ou seja, em filetes contínuos ao lado das plantas, como é feita em muitas situações (BARROS et al., 1990), esta pode propiciar perdas por lixiviação e menor absorção do nutriente, em decorrência do reduzido volume de raízes até a idade de fertilização, ou pela grande concentração de nitrogênio na porção do solo sobre a qual se deposita o filete de fertilizante.

É comum no Brasil, em plantios de eucalipto, aplicar potássio junto com o nitrogênio. Ainda que o potássio seja menos móvel no solo, a alta solubilidade das fontes usadas e a baixa CTC dos solos elevam o potencial de lixiviação do elemento (SOUZA et al., 1979; VASQUEZ e

PACHON, 1984; ADÁMOLI et al., 1987; GALO, 1993; DURIEZ, 1994; GASPARINI, 1994), principalmente em Areias Quartzosas.

Diante do exposto, conduziu-se este estudo, com o objetivo de avaliar os efeitos do modo de aplicação de fertilizantes nitrogenado e potássico nos fluxos do nitrogênio e do potássio em povoamentos de *E. camaldulensis*, cultivados em solo arenoso de cerrado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADÁMOLI, J., MACÊDO, J., AZEVEDO, L.G., NETO, J.M. —
Cultivo da Região dos Cerrados, In: GODERT, W. J., (Ed.)
Biotec. dos cerrados: tecnologia e estratégias de manejo. São Paulo:
Nobel Biopatria, EMBRAPA/CPAA, 1987, p.33-74.
- BARROS, N.F., SILVA, O.M., PEREIRA, A.R., BRAGA, J.M., LUDWIG
A. Análise de crescimento da *Leucaena saligna* em solo de cerrado
sob diferentes níveis de N, P e K no Vale do Jequitinhonha, MG
IPEF, v.25, p.13-17, 1984.
- BARROS, N.F., NOVAIS, R.F., NETO, J.M. Fertilização e correção do
solo para o plantio do eucalipto. In: BARROS, N.F., NOVAIS, R.F.
(Eds.) Relações solo-eucalipto. Viçosa: Folia de Viçosa, 1990, p.127-
136.
- DURIEZ, M.M. Monitoramento e avaliação de cálcio e potássio em
resposta à calagem e adubação potássica em colunas de solos.
Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1994, 102p. Dissertação
(Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de
Viçosa, 1994.
- GALO, M.V. Resposta de eucalipto à aplicação de potássio em solo de
cerrado. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1993, 40p.
Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade
Federal de Viçosa, 1993.

OASPARINI, J.L.G. Dinâmica do potássio em alguns solos da Região do Alto Paraiíba Estado de São Paulo. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1994. 74p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1994.

MENGEL, K., KIRKBY, E.A. Principles of plant nutrition. Bonn: International Potash Institute, 1982. 635p.

NOVAIS, R.F., GOMES, J.M., BORGES, E.E.L., ROCHA, D. Calagem e adubação mineral na produção de mudas de eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden). II. Efeitos da calagem, do N e do superfosfato. 1979.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

RAISON, R.J., CONNELL, M.J., SHANNA, F.H., FALKNER, R.A. Effects of irrigation and nitrogen fertilization on fluxes of soil mineral nutrients in stand of *Pinus radiata*. For. Ecol. Manag., v.32, n.1-4, p.43-54, 1982.

ADÂMOLI, J., MACÊDO, J., AZEVEDO, L.G., NETO, J.M. Caracterização da Região dos Cerrados. In: GODERT, W. J., (Ed.) **Solos dos cerrados: tecnologia e estratégias de manejo**. São Paulo: Nobel/Brasília: EMBRAPA/CPAC, 1987. p.33-74.

BARROS, N.F., SILVA, O.M., PEREIRA, A.R., BRAGA, J.M., LUDWIG, A. Análise de crescimento de *Eucalyptus saligna* em solo de cerrado sob diferentes níveis de N, P e K no Vale do Jequitinhonha, MG. **IPEF**, n.26, p.13-17, 1984.

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: Folha de Viçosa, 1990. p.127-186.

DURIEZ, M.M. **Movimentação e lixiviação de cálcio e potássio em resposta à calagem e adubação potássica em colunas de solos**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1994. 102p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1994.

GALO, M.V. **Resposta do eucalipto à aplicação de potássio em solo de cerrado**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1993. 40p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1993.

- GASPARINI, J.L.G. **Dinâmica do potássio em alguns solos da Região do Alto Paraíba Estado de São Paulo**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1994. 74p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1994.
- MENGEL, K., KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. Bern: International Potash Institute, 1982. 655p.
- NOVAIS, R.F., GOMES, J.M., BORGES, E.E.L., ROCHA, D. Calagem e adubação mineral na produção de mudas de eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden). II- Efeitos da calagem, do N e do superfosfato simples. **Rev. Árvore**, v.3, n.2, p.1-13, 1979.
- RAISON, R. J., CONNELL, M. J., KHANNA, P.K., FALKINER, R.A. Effects of irrigation and nitrogen fertilization on fluxes of soil mineral nitrogen in stand of *Pinus radiata*. **For. Ecol. Manag.**, v.52, n.1-4, p.43-64, 1992.
- 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, 1990. p.265-302.
- SALARDINI, A.A., SPARROW, L.A., HOLLOWAY, R.J. The mobility and transformation of soil nitrogen and the relationships between soil and plant nitrogen and yield at different times following applications of various nitrogen fertilizers to sweet corn. **Aust. J. Agric. Res.**, v.43, n.7, p.1643-1652, 1992.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA-SBS. A quantas anda o setor florestal brasileiro? **Silvicultura**, v.12, n.42, 6-9, 1992.
- SOUZA, D.M.G., RITCHEY, K.D., LOBATO, E., GOEDERT, W.J. Potássio em solo de cerrado, II - Balanço no solo. **Rev. bras. Ci. Solo**, v.3, n.1, p.31-39, 1979.
- VASQUEZ, S.S., PACHON, I.F.C. Comportamiento de tres fertilizantes potasicos en un Dystrandept typic. **Cenicafe**, v.35, n.2, p.31-39, 1984.

**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**

RESUMO

Este trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar o crescimento e a absorção de nitrogênio e de potássio em povoamentos de *E. camaldulensis*, com 13 e 37 meses de idade, cultivados em solo arenoso de cerrado, quando adubados com N e K. A área experimental localiza-se no município de João Pinheiro-MG (17°19'S e 46°07'W, 545 m de altitude), sob o domínio do ecossistema de cerrado. Foram testados três tratamentos: 1) ausência de adubação nitrogenada e potássica; 2) adubação potássica e nitrogenada em linha entre árvores; e 3) adubação nitrogenada e potássica a lanço, em área total. As doses testadas foram de 85 kg.ha⁻¹ de N e 70 kg.ha⁻¹ de K. Na instalação e depois aos 34, 68, 102 e 136 dias após a fertilização, foram medidas a circunferência à altura do peito (CAP) e a altura das árvores. Na instalação e após 136 dias, foram coletadas amostras das folhas, dos galhos, das cascas e do lenho, para

determinação de peso de matéria seca e teores de N e K. As árvores apresentaram altura média, diâmetro e produção de biomassa maiores no tratamento em que a aplicação dos nutrientes foi feita em linha. As maiores taxas de crescimento, absorção e recuperação de N e K foram observadas no povoamento mais velho, no qual o fertilizante foi aplicado em linha. A fertilização em área total proporcionou um crescimento superior ao da testemunha, para as características avaliadas. Concluiu-se que a aplicação do fertilizante para plantios de eucalipto na região do estudo deve ser efetuada em filete contínuo entre plantas.

Palavras-chave: Nitrogênio, potássio, *Eucalyptus camaldulensis*, eucalipto, eficiência de recuperação.

GROWTH OF *Eucalyptus camaldulensis* AND ITS RECOVERY OF FERTILIZER N AND K AS INFLUENCED BY NITROGEN AND POTASSIUM FERTILIZATION/PLACEMENT WHEN GROWN IN A SANDY, SAVANNA SOIL

ABSTRACT

This work evaluated the growth, nitrogen absorption, and potassium absorption of 13 and 37 month old *Eucalyptus camaldulensis* growing in a sandy savanna soil, after receiving N and K fertilizer. The experimental area was located near João Pinheiro-MG, Brasil (17°19'S and 46°07'W, altitude = 545 m). Three fertilizer/placement treatments were studied: (1) No fertilization; (2) N and K fertilizer placed in the rows between trees, and (3) N and K fertilizer broadcast over the total area. The fertilizer rates applied were 85 kg.ha⁻¹ of N and 70 kg.ha⁻¹ of K. Diameter at breast height and tree height were measured at installation and 34, 68, 102 and 136 days later. Biomass and N and K levels in the trees were estimated by sampling

leaves, branches, bark and stemwood at the time of installation and 136 days later. The trees showed a positive height, diameter and biomass response when the nutrients were applied in the rows. This fertilizer placement treatment also gave the greatest responses in growth rate and fertilizer recovery when applied to the older trees. The broadcast treatment also gave a significant growth response. It was concluded that fertilization within the rows was the preferable technique to use with eucalyptus when grown in the study area.

Key-words: Nitrogen, potassium, *Eucalyptus camaldulensis*, eucalyptus, recovery efficiency.

1. INTRODUÇÃO

O nitrogênio e o potássio são os nutrientes acumulados em maiores quantidades em povoamentos de eucalipto (TEIXEIRA, 1987; MORAIS, 1988; GALO, 1993; SANTANA, 1994). Por isso, formulações NK ou NPK têm sido, em geral, aplicadas nos plantios de eucalipto. A despeito de esta ser uma prática de uso freqüente e bastante difundida (BARROS et al., 1990; REIS e BARROS, 1990), as respostas do eucalipto à adubação nitrogenada não têm sido muito consistentes. Na fase inicial de crescimento do povoamento, é quando se observam respostas mais ou menos acentuadas a este nutriente (MELLO et al., 1970; BRANDI et al., 1971; BRANDI et al., 1977; VALERI et al., 1982; BARROS et al., 1984). Em estágio mais avançado, observa-se o desaparecimento ou a tendência de diminuição de resposta (RANWELL et al., 1974; BARROS e PRITCHETT, 1979).

A aplicação de potássio aos plantios se justifica pelos baixos teores deste nutriente nos solos utilizados para o plantio do eucalipto no Brasil, como é o caso dos solos de cerrado. Nestes, a baixa disponibilidade

natural de potássio deve-se à predominância de minerais com baixas capacidades de reposição e adsorção do nutriente (GALO, 1993), o que torna obrigatória a utilização de fertilizantes químicos (NOVAIS et al., 1979), sendo freqüente a obtenção de respostas positivas à aplicação de potássio (GALO, 1993).

Altas produtividades e condições naturais que favoreçam a lixiviação podem levar à rápida exaustão do potássio no sistema, o que obrigaria a adição do nutriente para manutenção da produtividade (CÁRDENAS, 1987; DURIEZ, 1994). Contudo, o pouco conhecimento sobre a dinâmica de K em solos sob eucalipto não permite a racional definição das melhores época e dose de aplicação do fertilizante potássico para a cultura do eucalipto (NOVAIS, et al., 1990; GALO, 1993).

Diante do exposto, fica evidente a necessidade de melhor entendimento das possíveis causas pelas quais, em determinadas situações, as respostas das plantas à aplicação de N são positivas e em outras, nulas, bem como maiores informações sobre o comportamento do potássio no sistema solo-planta.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento e a recuperação de N e K em eucalipto, influenciados pelo modo de aplicação de fertilizante nitrogenado e potássico, cultivado em solo arenoso do cerrado.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado entre dezembro de 1993 e abril de 1994, em povoamentos de *E. camaldulensis*, com 13 e 37 meses de idade, localizados em João Pinheiro-MG (17°19'S e 46°07'W, 545 m de altitude). A área está sob o domínio do ecossistema de cerrado. O clima local é tipo Aw, segundo a classificação de Köppen, a precipitação média anual de 1353mm e a temperatura média de 22,1°C, com estação seca bem definida. O solo foi classificado como Areia Quartzosa Álica, A fraco, fase cerrado, relevo plano (FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS - FCTMG, 1983), com mais de 890 g areia.kg⁻¹ nos 40 cm

superficiais, cujas características químicas iniciais eram: pH em H₂O: 4,5; cátions trocáveis - Al: 0,8; Ca: 0,4 e Mg: 0,1 cmol_c. dm⁻³, P e K disponíveis: 5,4 e 13,4 mg.dm⁻³, respectivamente; C: 4,4 g.kg⁻¹; N: 0,4 g.kg⁻¹; e C/N: 11.

Os tratamentos consistiram de uma testemunha (T) sem fertilização e duas formas de aplicação da fórmula 20-0-20: aplicação em linha junto às árvores (AL) e aplicação a lanço em toda a área (AT). A dose testada foi de 85 kg.ha⁻¹ de N e 70 kg.ha⁻¹ de K, sendo uréia a fonte de N e cloreto de potássio a fonte de K. A área de cada parcela experimental foi de 150 m² (10 x 15 m), envolvendo, em média, 25 árvores. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com seis repetições.

Avaliou-se o crescimento na época de instalação e depois aos 34, 68, 102, 136 dias após aplicação do fertilizante. Foram consideradas todas as árvores de cada parcela, medindo-se a altura, para ambos os povoamentos, e a CAP (circunferência à altura do peito > 3 cm), somente para o povoamento de 37 meses.

Na época de instalação do estudo e ao final de 136 dias, foi abatida uma árvore média por parcela, e os seus componentes (lenho, casca, folhas e galhos) foram separados e pesados, para determinar o peso da matéria fresca. Coletaram-se três discos do tronco com casca, a 0, 50 e 100% da altura, que foram utilizados para determinação do teor de umidade, do peso de matéria seca e da concentração de nutrientes. As amostras dos componentes foram acondicionadas em saco de papel e secas em estufa de circulação forçada a 70°C, até peso constante. O material seco foi pesado, moído e submetido à digestão nítrico-perclórica, para determinação dos teores de potássio. O potássio foi determinado por fotometria de chama e o nitrogênio, por titulometria, após a digestão Kjeldhal (TEDESCO et al., 1985).

Estimaram-se as quantidades de nutrientes no lenho, na casca, nas folhas e nos galhos. A absorção de nitrogênio e de potássio foi estimada

pela diferença entre os conteúdos finais e iniciais dos nutrientes. A eficiência de utilização de cada nutriente para produção de matéria seca foi calculada pela relação: kg de matéria seca.kg⁻¹ de nutriente acumulado. A eficiência de recuperação aparente de nitrogênio e de potássio foi estimada de acordo com a seguinte fórmula:

$$R = [(PA-PT) / Q] \times 100$$

em que

R = porcentagem de recuperação;

PA = quantidade de nutriente absorvido pelas plantas adubadas;

PT = quantidade do nutriente absorvido pelas plantas não-adubadas; e

Q = quantidade do nutriente aplicado via fertilizante.

Os dados obtidos e calculados foram submetidos à análise de variância, sendo os tratamentos testados de acordo com o esquema de contrastes ortogonais, comparando-se T vs (AL + AT) e AL vs AT.

A variação de altura e de CAP com o tempo foi analisada por regressão. Escolheu-se o modelo que apresentou maior coeficiente de determinação e significância ($P < 0,05$) dos coeficientes de regressão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Crescimento das plantas

O crescimento das plantas adubadas foi ligeiramente superior ao da testemunha, sobretudo com a aplicação localizada (Figuras 1, 2 e 3), reforçando a hipótese de que o solo da região é incapaz de suportar elevadas taxas de crescimento e produção, em razão da sua baixa fertilidade. O efeito da adubação foi mais intenso no povoamento mais velho (37 meses), indicando o aumento da demanda de N e K com a idade. Entretanto, BARROS et al. (1990) relatam que respostas acentuadas a

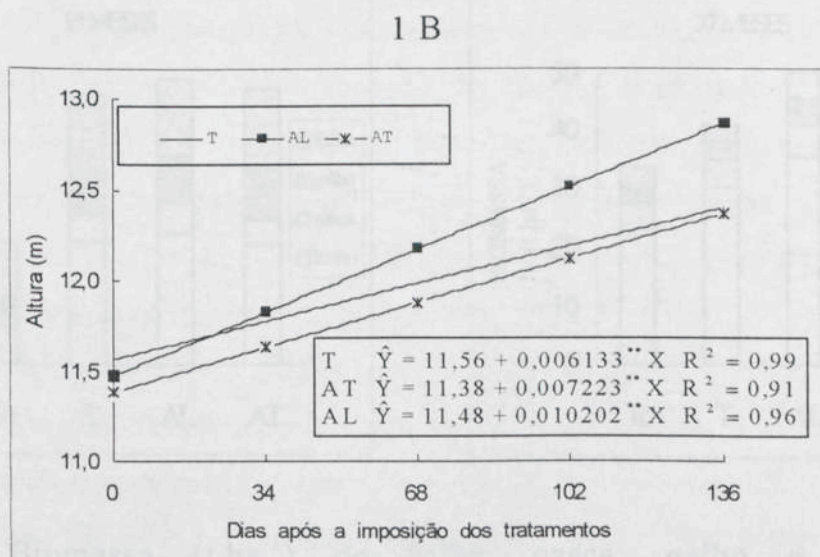
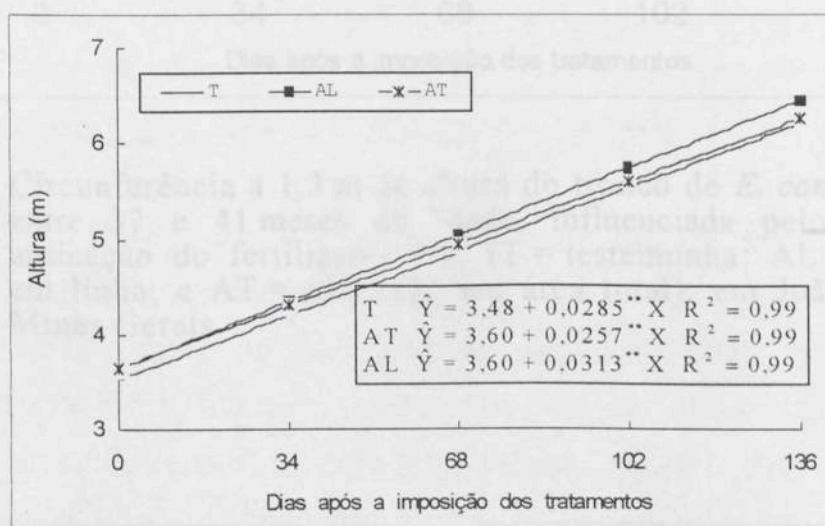


Figura 1 - Altura de plantas de *E. camaldulensis*, de 13 meses (1 A) e 37 meses de idade (1 B), influenciada pelo modo de aplicação do fertilizante NK (T = testemunha; AL = adubação em linha; e AT = adubação em área total), em João Pinheiro, Minas Gerais.

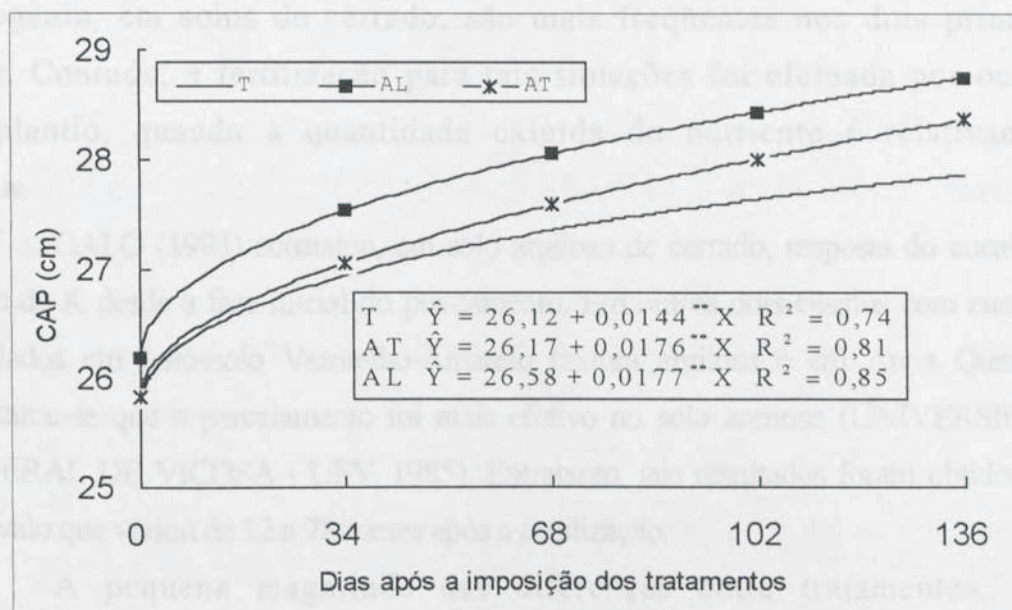


Figura 2 - Circunferência a 1,3 m de altura do tronco de *E. camaldulensis*, entre 37 e 41 meses de idade, influenciada pelo modo de aplicação do fertilizante NK (T = testemunha; AL = adubação em linha; e AT = adubação em área total), em João Pinheiro, Minas Gerais.

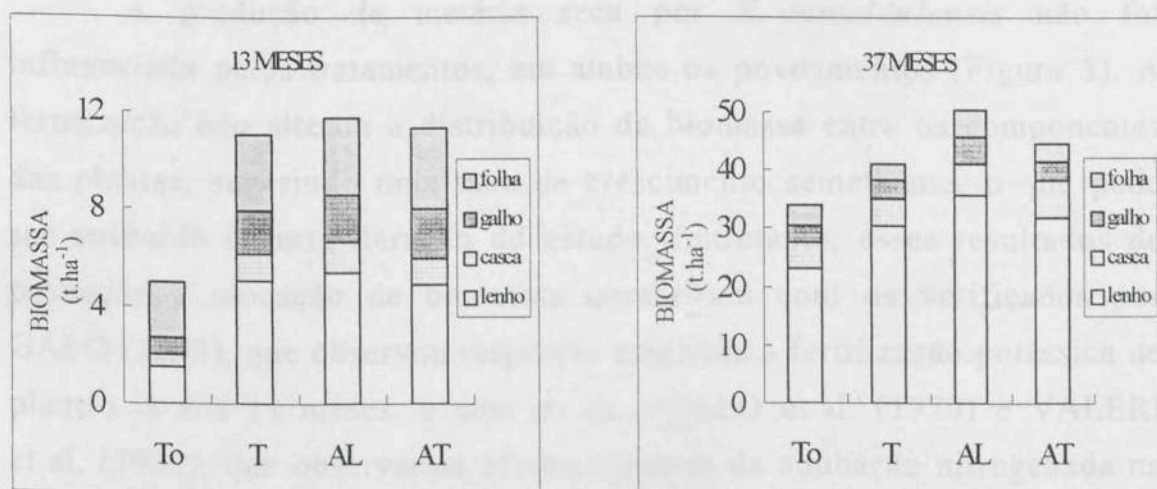


Figura 3 - Biomassa (t.ha⁻¹) de folha, casca, galho e lenho de *E. camaldulensis*, aos 13 e 37 meses (T₀), e nos mesmos povoamentos aos 17 e 41 meses de idade, influenciada pelo modo de aplicação do fertilizante NK (T = testemunha; AL = adubação em linha; e AT = adubação em área total), em João Pinheiro, Minas Gerais.

nitrogênio, em solos de cerrado, são mais frequentes nos dois primeiros anos. Contudo, a fertilização para tais situações foi efetuada por ocasião do plantio, quando a quantidade exigida do nutriente é relativamente baixa.

GALO (1993) constatou, em solo argiloso de cerrado, resposta do eucalipto a doses de K desde a fase inicial do povoamento. Em outros dois ensaios com eucalipto, instalados em Latossolo Vermelho-Amarelo textura argilosa e em Areia Quartzosa, constatou-se que o parcelamento foi mais efetivo no solo arenoso (UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA - UFV, 1985). Entretanto, tais resultados foram obtidos após intervalo que variou de 12 a 78 meses após a fertilização.

A pequena magnitude das diferenças entre tratamentos, neste trabalho, deve ser atribuída ao curto espaço de tempo, 136 dias, entre a aplicação do fertilizante e as avaliações. Contudo, a manutenção das tendências observadas até o final do ciclo da cultura poderá acarretar diferenças entre os tratamentos.

Os resultados aqui apresentados indicam maior eficiência da fertilização em linha, possivelmente decorrente de maior recuperação de nutrientes, que a observada quando a fertilização foi feita em área total.

A produção de matéria seca por *E. camaldulensis* não foi influenciada pelos tratamentos, em ambos os povoamentos (Figura 3). A fertilização não alterou a distribuição de biomassa entre os componentes das plantas, sugerindo uma taxa de crescimento semelhante, o que pode ser atribuído à curta duração do estudo. Entretanto, esses resultados de produção e alocação de biomassa contrastam com os verificados por GALO (1993), que observou respostas positivas à fertilização potássica de plantio já aos 11 meses, e com os de MELLO et al. (1970) e VALERI et al. (1982), que observaram efeitos também da adubação nitrogenada na fase inicial de crescimento.

A distribuição de biomassa entre os componentes da árvore alterou-se com a idade do povoamento (Figura 3). Nos povoamentos de 13 meses, 45% da biomassa da parte aérea distribuiu-se entre folhas e galhos, enquanto no povoamento de 37 meses esta proporção reduziu para 16%, seguindo a mesma tendência de alocação de biomassa para todos

tratamentos. A maior proporção da biomassa na copa do povoamento mais jovem reforça a importância da existência de maior disponibilidade de nutrientes nessa fase, pois é quando se forma a maior porção do aparelho fotossintético (MILLER, 1995). Nos povoamentos de 37 meses, observou-se maior alocação de biomassa para o tronco, mostrando que a alocação de biomassa para este componente aumenta com a idade do povoamento (Figura 3) (ATTIWILL, 1966; BELLOTE, 1979; PEREIRA et al., 1984 e PEREIRA, 1990).

3.2. Concentração, conteúdo e eficiência de utilização de nutrientes

A aplicação do fertilizante NK elevou a concentração desses nutrientes nos vários componentes das árvores com 13 meses de idade (Quadro 1), especialmente nas folhas, que são, em geral, mais sensíveis às alterações dos teores dos elementos minerais no solo. Entretanto, aos 37 meses de idade, o aumento das concentrações foi de maior magnitude, refletindo uma possível redistribuição interna dos mesmos, que é intensificada com a idade das árvores (REIS e BARROS, 1990; MILLER, 1995). Na faixa de idade compreendida entre os 24 e 48 meses, a taxa de alocação de biomassa para o tronco é elevada e o processo de ciclagem bioquímica de nutrientes móveis na planta se intensifica. Este processo é acentuado quando o solo é incapaz de suprir satisfatoriamente a necessidade de nutrientes demandados pela planta, para seu crescimento. Assim, nas fases de intenso crescimento, nutrientes de grande mobilidade interna como o K e N são utilizados no limite da exigência específica, acarretando uma diluição dos mesmos.

A distribuição dos conteúdos de nitrogênio e potássio nos compartimentos da parte aérea das plantas seguiu o mesmo comportamento observado para os componentes da biomassa vegetal (Figura 4).

Os teores de N e de K nas folhas das plantas aos 13 meses (Quadro 1) estão próximos daqueles considerados críticos por NOVAIS et al. (1990). Entretanto, os teores de N nas folhas das árvores de 37 meses estão abaixo do limite estabelecido como crítico. As concentrações dos nutrientes

Quadro 1 - Concentração de N e de K (Conc. - dag.kg^{-1}) nos componentes de árvores de *E. camaldulensis* e eficiência de utilização de nutrientes na planta (E.U. - $\text{kg de matéria seca.kg}^{-1}$ de nutriente absorvido), aos 13 e 37 meses (T_0), e nos mesmos povoamentos aos 17 e 41 meses de idade (T = testemunha; AL = adubação em linha; e AT = adubação em área total), influenciadas pelo modo de aplicação do fertilizante NK

Nutrientes	Tratamentos	Folha		Galho		Lenho		Casca	
		Conc.	E.U.	Conc.	E.U.	Conc.	E.U.	Conc.	E.U.
Idade de 13 meses									
N	T ₀	1,65	63	0,88	118	0,36	291	0,59	180
	T	1,65	61	0,71	143	0,43	238	0,98	104
	AL	2,46	41	0,73	133	0,52	199	1,07	92
	AT	1,97	51	1,34	73	0,44	234	1,09	94
K	T ₀	0,87	115	0,54	113	0,18	417	0,66	151
	T	0,96	103	0,80	192	0,24	561	0,68	145
	AL	1,16	87	0,98	103	0,22	468	0,91	111
	AT	1,07	94	0,98	111	0,22	451	0,86	121
Idade de 37 meses									
N	T ₀	1,12	90	0,59	177	0,20	479	0,52	197
	T	1,58	65	0,66	146	0,26	385	0,86	120
	AL	2,49	40	0,81	120	0,29	349	0,97	104
	AT	2,00	49	0,70	145	0,26	386	0,88	114
K	T ₀	0,56	178	0,73	146	0,13	752	0,54	184
	T	0,94	107	0,95	115	0,13	791	0,64	155
	AL	1,00	101	1,08	92	0,14	715	0,81	125
	AT	0,98	102	0,90	111	0,14	722	0,71	140

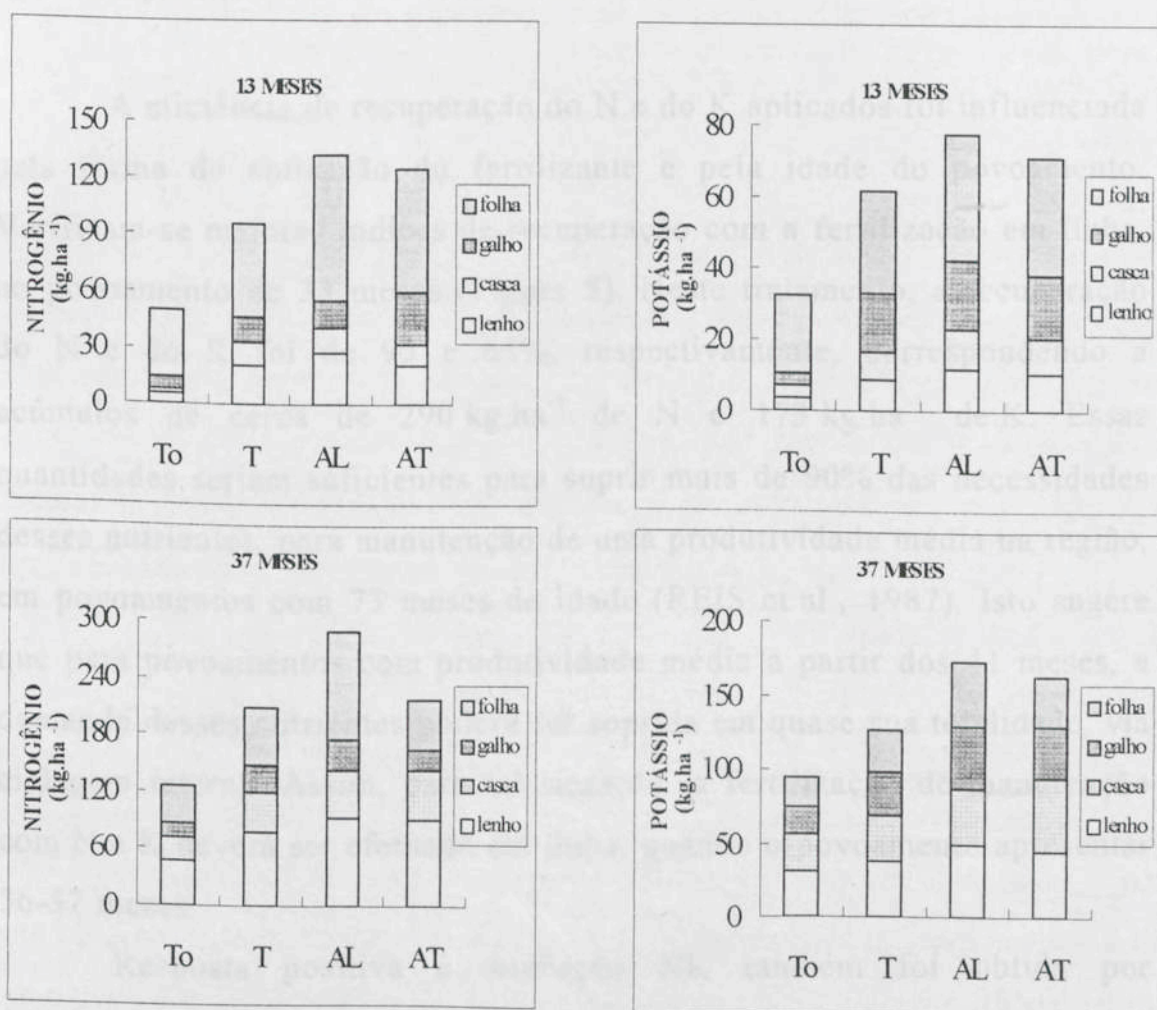


Figura 4 - Conteúdo de nitrogênio e de potássio (kg.ha⁻¹) na folha, na casca, no galho e no lenho de *E. camaldulensis*, aos 13 e 17 meses (T₀), e nos mesmos povoamentos aos 17 e 41 meses de idade, influenciado pelo modo de aplicação do fertilizante NK (T = testemunha; AL = adubação em linha; e AT = adubação em área total), em João Pinheiro, Minas Gerais.

determinadas nos demais componentes da árvore, aos 13 e 37 meses (Quadro 1), são semelhantes às verificadas por REIS et al. (1987). A eficiência de utilização de N e K nos componentes da parte aérea de *E. camaldulensis*, para os povoamentos de ambas as idades, reduziu-se nos tratamentos com a adubação (Quadro 1), sobretudo, quando o fertilizante foi aplicado em linha, uma vez que o aumento de biomassa foi proporcionalmente inferior ao dos nutrientes.

3.3. Recuperação dos nutrientes adicionados

A eficiência de recuperação do N e do K aplicados foi influenciada pela forma de aplicação do fertilizante e pela idade do povoamento. Verificam-se maiores índices de recuperação com a fertilização em linha, no povoamento de 37 meses (Figura 5). Neste tratamento, a recuperação do N e do K foi de 95 e 65%, respectivamente, correspondendo a acúmulos de cerca de 290 kg.ha^{-1} de N e 173 kg.ha^{-1} de K. Essas quantidades seriam suficientes para suprir mais de 90% das necessidades desses nutrientes, para manutenção de uma produtividade média na região, em povoamentos com 73 meses de idade (REIS et al., 1987). Isto sugere que para povoamentos com produtividade média a partir dos 41 meses, a demanda desses nutrientes poderá ser suprida em quase sua totalidade, via ciclagem interna. Assim, para tal situação, a fertilização de manutenção com N e K deverá ser efetuada em linha, quando o povoamento apresentar 36-37 meses.

Resposta positiva à adubação NK também foi obtida por SANTANA et al. (1995), quando esta foi efetuada em área total sem incorporação ao solo. GALO (1993), utilizando doses crescentes ($0-240 \text{ kg.ha}^{-1}$ de K_2O), a lanço e incorporadas no plantio, obteve respostas a partir dos 11 meses de idade e uma recuperação acima de 100% do potássio, para a dose de 30 kg.ha^{-1} de K_2O .

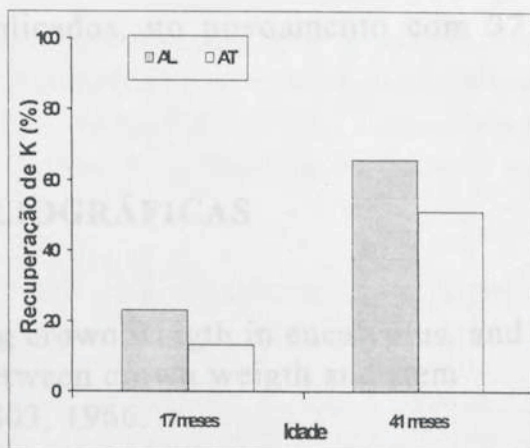
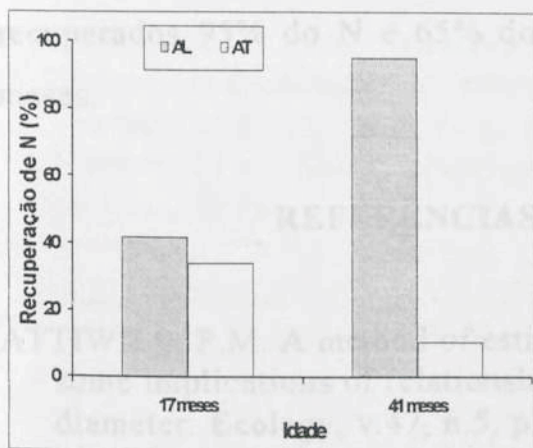


Figura 5 - Recuperação de nitrogênio e de potássio em *E. camaldulensis*, de 17 e 41 meses idade, em condições de cerrado, influenciada pelo modo de aplicação do fertilizante NK (AL = adubação em linha e AT = adubação em área total), em João Pinheiro, Minas Gerais.

A menor eficiência de recuperação de N e de K no povoamento de 17 meses, se comparado ao povoamento de 41 meses, poderia ser explicada pela menor exploração do solo pelo sistema radicular, menor demanda e maior mineralização, fatores que favorecem a lixiviação. Nestas condições, constatou-se, durante o período chuvoso (Capítulo 2), que as taxas de mineralização podem atingir $115 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N.

4. CONCLUSÕES

A fertilização com N e K favoreceu o crescimento de *E. camaldulensis*, afetando positivamente o ganho de biomassa, as concentrações e os conteúdos dos nutrientes aplicados nos compartimentos da parte aérea, sobretudo, no tratamento em que o fertilizante foi aplicado em linha. A eficiência de utilização de N e K diminuiu nos tratamentos em que houve a fertilização.

Para as condições em estudo, a recuperação aparente dos nutrientes adicionados foi maior quando o fertilizante foi aplicado em linha, sendo

recuperados 95% do N e 65% do K aplicados, no povoamento com 37 meses.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATTIWILL, P.M. A method of estimating crown weight in eucalyptus, and some implications of relationships between crown weight and stem diameter. **Ecology**, v.47, n.5, p.795-803, 1966.
- BARROS, N.F., PRITCHETT, W.L. Effect of sources and rates of nitrogen on growth and composition of *Eucalyptus grandis*. **Soil Crop. Sci. Soc. Fla. Proc.**, v.38, n.1, p.101-104, 1979.
- 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: Folha de Viçosa, 1990. p.127-186.
- BARROS, N.F., SILVA, O.M., PEREIRA, A.R., BRAGA, J.M., LUDWIG. A. Análise de crescimento de *Eucalyptus saligna* em solo de cerrado sob diferentes níveis de N, P e K no Vale do Jequitinhonha, MG. **IPEF**, n.26, p.13-17, 1984.
- BELLOTE, A.F.J. **Concentração, acumulação e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis* em função da idade**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1979. 129p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - ESALQ/USP, 1979.
- BRANDI, R. M., BARROS, N.F., VALE, A.B. Ensaio de adubação de *Eucalyptus spp*. **Rev. Ceres**, v.18, n.96, p.151-158, 1971.
- BRANDI, R.M., CANDIDO, J.F., BRAGA, J.M., BARROS, N. F. Efeito da adubação NPK no desenvolvimento inicial de mudas de *Eucalyptus citriodora* Hook. **Rev. Ceres**, v.24, n.134, p.405-411, 1977.
- CÁRDENAS, A.C. **Exportação de nutrientes e produtividade de eucalipto no Litoral Norte do Espírito Santo**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1987. 98p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1987.

- DURIEZ, M.M. **Movimentação e lixiviação de cálcio e potássio em resposta à calagem e adubação potássica em colunas de solos.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1994. 102p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1994.
- FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS - FCTMG. **Dianóstico ambiental do Estado de Minas Gerais.** Belo Horizonte: CETEC, 1983. 158p.
- GALO, M.V. **Resposta do eucalipto à aplicação de potássio em solo de cerrado.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1993. 40p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1993.
- MELLO H.A., MASCARENHAS SOBRINHO, J., SIMÕES, J.W., COUTO, H.T.Z. Resultados da aplicação de fertilizantes minerais na produção de madeira de *Eucalyptus saligna* em solos de cerrado do estado de São Paulo. **IPEF**, n.1, p.7-26, 1970.
- MILLER, H.G. The influence of stand development on nutrient demand, growth and allocation. **Plant Soil**, v.168-169, n.1, p.225-232, 1995.
- MORAIS, E.J. **Crescimento e eficiência nutricional de espécies de Eucalipto em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1988. 56p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1988.
- NOVAIS, R.F., GOMES, J.M., BORGES, E.E.L., ROCHA, D. Calagem e adubação mineral na produção de mudas de eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill (ex Maiden)). II- Efeitos da calagem, do N e do superfosfato simples. **Rev. Árvore**, v.3, n.2, p.1-13, 1979.
- NOVAIS, R.F., BARROS, N.F., NEVES, J.C.L. Nutrição mineral do eucalipto. In: BARROS, N. F., NOVAIS, R. F. (Eds.) **Relação solo-eucalipto.** Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p.25-98.
- PEREIRA, A.R., BARROS, N.F., ANDRADE, D.C., CAMPOS, P.T.A. Concentração e distribuição de nutrientes em *Eucalyptus grandis* em função da idade, cultivado na região do cerrado. **Brasil Florestal**, v.13, n.1, p.27-37, 1984.

- PEREIRA, A.R. **Biomassa e ciclagem de nutrientes minerais em povoamentos jovens de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, em Região de Cerrado**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1990. 167p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1990.
- RANWELL, J.F., KIRK, R.D., MULLINS, A. J. An preliminar study on the response of timber in the Trankei to fertilization. **Fert. Soc. Soil African J.**, v.1, n.1, p.9-14, 1974.
- REIS, M.G.F., BARROS, N.F., KIMMINS, J.P. Acúmulo de nutrientes em uma sequência de idade em *Eucalyptus grandis* W. Hill (ex Maiden) plantado no cerrado, em duas áreas com diferentes produtividades. **Rev. Árvore**, v.11, n.1, p.1-15, 1987.
- 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, 1990. p.265-302.
- SANTANA, R.C. **Crescimento e eficiência nutricional de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em sítios do Estado de São Paulo**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1994. 73p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1994.
- SANTANA, R.C., CHAVES, R., NOVAIS, R.F., BARROS, N.F. Modo de aplicação da adubação de manutenção em povoamento de *Eucalyptus grandis* em áreas da DURATEX S.A. no município de Lençóis Paulista, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, 1995, Viçosa. **Resumos...**, Viçosa: UFV, 1995. v.2, p.869-870.
- TEDESCO, J.M., WOLKWEISS, S. J., BOHEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1985. 156p. (Boletim Técnico, 5).
- TEIXEIRA, J.L. **Conteúdo de nutrientes e produção de eucalipto em diferentes ambientes do Rio Doce, MG**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1987. 70p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1987.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. **Nutrição, fertilização e manejo de solos sob reflorestamentos e utilização de escória de siderurgia como corretivo e fertilizantes do solo.** Relatório Anual do Convênio UFV/FINEP. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1985. 168p.

VALERI, S.V., CORRADINI, L., FAZZIO, E.C. M., CARRARA, M.A., SOUZA, E.A., AGUIAR, I.B., BANZATTO, D.A., BALERONI, J., ABRAHÃO, I.S. Efeitos da adubação NPK e do calcário dolomítico no desenvolvimento de *Eucalyptus grandis* Hill (ex Maiden). **Silvicultura**, v.1., n.28, p.531-536, 1982; CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4, 1982, Belo Horizonte. **Anais...**, Belo Horizonte: SBS, 1982.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar o fluxo parcial de nitrogênio e de potássio em solos sob povoamentos de *E. camaldulensis*, com 13 e 37 meses de idade, influenciado pelo modo de aplicação de fertilizante nitrogenado e potássico em solos arenosos. Os tratamentos consistiram de uma testemunha sem fertilização e duas formas de aplicação da fórmula 20-0-20: aplicação em linha junto às árvores e aplicação a largo em toda a área. A dose fixada foi de 85 kg ha⁻¹ de N e 70 kg ha⁻¹ de K, sendo ainda a metade de N e potássio a longo de K. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com seis repetições. Foram quantificados, nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, o N total, o N inorgânico, o K disponível e, por meio de incubação *in situ*, a mineralização. Pelas variações das taxas de N inorgânico e K disponível, foram estimados os fluxos parciais de N e de K no solo. A adição do fertilizante aumentou os fluxos de N e de K no sistema, especialmente quando este foi aplicado em linha. Decorridos 34 e 60 dias

**FLUXO PARCIAL DE NITROGÊNIO E DE POTÁSSIO EM
SOLO ARENOSO DE CERRADO, SOB POVOAMENTOS DE
Eucalyptus camaldulensis, INFLUENCIADO PELO MODO DE
APLICAÇÃO DE ADUBO NITROGENADO E POTÁSSICO**

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar o fluxo parcial de nitrogênio e de potássio em solos sob povoamentos de *E. camaldulensis*, com 13 e 37 meses de idade, influenciado pelo modo de aplicação de fertilizante nitrogenado e potássico em solos arenosos. Os tratamentos consistiram de uma testemunha sem fertilização e duas formas de aplicação da fórmula 20-0-20: aplicação em linha junto às árvores e aplicação a lanço em toda a área. A dose testada foi de 85 kg.ha⁻¹ de N e 70 kg.ha⁻¹ de K, sendo uréia a fonte de N e cloreto de potássio a fonte de K. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com seis repetições. Foram quantificados, nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, o N total, o N inorgânico, o K disponível e, por meio de incubação *in situ*, a mineralização. Pelas variações dos teores de N inorgânico e K disponível, foram estimados os fluxos parciais de N e de K no solo. A adição do fertilizante aumentou os fluxos de N e de K no sistema, especialmente quando este foi aplicado em linha. Decorridos 34 e 68 dias

após os tratamentos, os teores de N e K no solo, respectivamente, diminuíram, até atingir valores semelhantes aos observados antes da fertilização. A lixiviação do N, na forma amoniacal, e do K após a fertilização ocorre em um curto período de tempo. As taxas diárias de mineralização de N variaram de 0,21 a 0,63 mg.kg⁻¹ de solo dia⁻¹ para a testemunha; a adição do fertilizante nitrogenado, de modo geral, favoreceu mais a mineralização, quando o fertilizante foi aplicado em linha, elevando essas taxas a valores de até 2,64 mg.kg⁻¹ de solo dia⁻¹. Não se observou nitrificação. A concentração de N total variou de 0,3 a 0,8 g.kg⁻¹ de solo e a de N inorgânico, de 5 a 250 mg.kg⁻¹. O K disponível apresentou valores que variaram de 7 a 164 mg.kg⁻¹ de solo, de acordo com os tratamentos. Os teores de N total, N inorgânico e K disponível diminuíram com o aumento da profundidade do solo, sendo os maiores teores detectados no tratamento em que o fertilizante foi aplicado em linha.

Palavras-chave: *Eucalyptus camaldulensis*, eucalipto, nitrogênio, potássio, mineralização, imobilização, lixiviação.

**PARTIAL NITROGEN AND POTASSIUM FLUXES IN A
SANDY SAVANNA SOIL UNDER *Eucalyptus camaldulensis*,
AS INFLUENCED BY NITROGEN AND POTASSIUM
FERTILIZATION AND PLACEMENT**

ABSTRACT

This work evaluated the partial fluxes of nitrogen and potassium in soils under 13 and 37 month-old *E. camaldulensis* plantations when fertilized with nitrogen and potassium. The treatments included (1) no fertilization, (2) fertilization in the rows between the trees, and (3) a

broadcast application of fertilizer. Fertilizer was applied at rates of 85 kg.ha⁻¹ of N and 70 kg.ha⁻¹ of K, using a 20-0-20 formulation made up of urea and potassium chloride. The plots were arranged in a randomized block design, with six replications. Stratified soil samples (0-5, 5-10, 10-20, 20-40 cm depth) were collected for determination of total N, inorganic N, available K and, by means of *in situ* incubation, N mineralization rate. Through variations in inorganic N and available K, the partial fluxes of N and K in the soil were estimated. Fertilization increased N and K fluxes, especially when it was applied in rows. Thirty-four and 68 days after treatment N and K soil levels decreased to values that were similar to pre-fertilization levels. K and NH₄-N leaching occurred soon after fertilization. The daily rates of N mineralization varied from 0.21 to 0.63 mg.kg⁻¹ soil day⁻¹ in the unfertilized plots. Nitrogen fertilization enhanced the mineralization rate when it was applied in rows, increasing these rates to as high as 2.64 mg.kg⁻¹ soil day⁻¹. No nitrification was observed. Total N concentration ranged from 0.3 to 0.8 g.kg⁻¹ of soil, and inorganic N ranged from 5 to 250 mg.kg⁻¹. Available K ranged from 7 to 164 mg.kg⁻¹ of soil. Total N, inorganic N and available K decreased with soil depth. The highest values were detected in plots where the fertilizer was applied in rows.

Key-words: *Eucalyptus camaldulensis*, eucalyptus, nitrogen, potassium, mineralization, immobilization, leaching.

1. INTRODUÇÃO

A manutenção de produtividade satisfatória em florestas de eucalipto, em muitas regiões brasileiras, requer a aplicação de fertilizantes, em razão de a cultura ser normalmente implantada em solos que apresentam baixa fertilidade natural.

Sendo o nitrogênio e o potássio os nutrientes acumulados em maiores quantidades em povoamentos de eucalipto (TEIXEIRA, 1987; MORAIS, 1988; GALO, 1993; SANTANA, 1994), sua aplicação, geralmente na formulação NK ou NPK, é técnica freqüente. Entretanto, as respostas à fertilização nitrogenada não têm sido consistentes (BARROS et al., 1990). Na fase inicial de crescimento da floresta, observam-se, eventualmente, as maiores respostas ao nutriente (MELLO et al., 1970; BRANDI et al., 1971; BRANDI et al., 1977; VALERI et al., 1982; BARROS et al., 1984), as quais tendem a desaparecer à medida que se aproxima o final do ciclo de crescimento (RANWELL et al., 1974; BARROS e PRITCHETT, 1979). As razões para a inconsistência das respostas ao N não são conhecidas, mas podem ser decorrentes de uma das seguintes possibilidades: das técnicas adotadas na fertilização nitrogenada e do seu possível efeito na dinâmica do N no solo; do atendimento das necessidades da cultura pelo N liberado da decomposição da matéria orgânica do solo; das baixas doses de N utilizadas; as perdas do nutriente por lixiviação e volatilização; e das menores necessidades do nutriente em fases mais avançadas do ciclo. Em geral, a adubação nitrogenada e potássica é aplicada no plantio do eucalipto, ou alguns meses após, em filetes contínuos ou em faixas (BARROS et al., 1990; SANTANA et al., 1995).

Sob condições de solo de cerrado, povoamentos de eucalipto têm respondido positivamente à adubação potássica (BARROS et al., 1990; GALO, 1993), sendo o nutriente acumulado em elevadas quantidades na biomassa (TEIXEIRA, 1987; MORAIS, 1988; GALO, 1993; SANTANA, 1994), a despeito de sua mobilidade relativamente alta no solo.

De acordo com LOPES (1975), 90% dos solos de cerrado do Brasil central apresentam teores de potássio inferiores a 58 mg.kg^{-1} de solo, o que indica alta probabilidade de respostas das culturas à adubação potássica.

A alta solubilidade do KCl, principal sal empregado como fonte de potássio no Brasil, associada à adição de doses elevadas e a solos de baixa CTC, favorece as perdas por lixiviação (VASQUEZ e PACHON, 1984; GALO, 1993; DURIEZ, 1994). Este processo é mais acentuado quando o solo é Areia Quartzosa, em razão de sua elevada permeabilidade, de seus baixos valores de CTC e, principalmente, se o manejo da adubação potássica é inadequado (SOUZA et al., 1979; VILELA et al., 1987; ADÁMOLI et al., 1987). Tais eventos conduzem a um reduzido efeito residual do fertilizante potássico. Por isto, sua aplicação deve ter como conseqüências a manutenção de um nível compatível de K com a CTC do solo e a satisfação da demanda da cultura, de acordo com o seu ciclo. Daí a necessidade de se definir a dose, o modo e a época de aplicação dos fertilizantes. Para isto, o entendimento do fluxo do potássio no solo contribuiria para o adequado manejo da adubação potássica.

Portanto, informações sobre os fatores que afetam os fluxos do nitrogênio e do potássio no solo devem auxiliar na recomendação da fertilização nitrogenada e potássica, tornando-a, possivelmente, mais efetiva para a cultura do eucalipto.

O objetivo deste estudo foi avaliar o fluxo parcial de N e de K, em solos sob eucalipto, influenciado pelo modo de aplicação do fertilizante nitrogenado e potássico.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado entre dezembro de 1993 e abril de 1994 em florestas de *E. camaldulensis*, com 13 e 37 meses de idade, localizadas em João Pinheiro-MG (17°19'S e 46°07'W, 545 m de altitude). A área está sob o domínio do ecossistema de cerrado. O clima local é do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen, tendo uma precipitação média anual de 1353 mm e temperatura média de 22,1°C, com estação seca bem definida. O solo foi classificado como Areia Quartzosa Álica, com A

fraco, fase cerrado, relevo plano (FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS - FCTMG, 1983), apresentando mais de 890 g.kg^{-1} de areia, nos 40 cm superficiais. As características químicas iniciais eram: pH em H_2O : 4,5; cátions trocáveis - Al: 0,8; Ca: 0,4 e Mg: 0,1 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, P e K disponíveis: 5,4 e 13,4 mg.dm^{-3} , respectivamente; C: 4,4 g.kg^{-1} ; N: 0,4 g.kg^{-1} ; e C/N: 11. A precipitação diária e a umidade do solo durante o período experimental são apresentadas nas Figuras 1 e 2.

Os tratamentos consistiram de uma testemunha sem fertilização e duas formas de aplicação da fórmula 20-0-20: aplicação em linha junto às árvores e aplicação a lanço em toda a área. A dose testada foi de 85 kg.ha^{-1} de N e 70 kg.ha^{-1} de K, sendo uréia a fonte de N e cloreto de potássio a fonte de K. A área de cada parcela experimental foi de 150 m^2 (10 x 15 m), envolvendo, em média, 25 árvores. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com seis repetições.

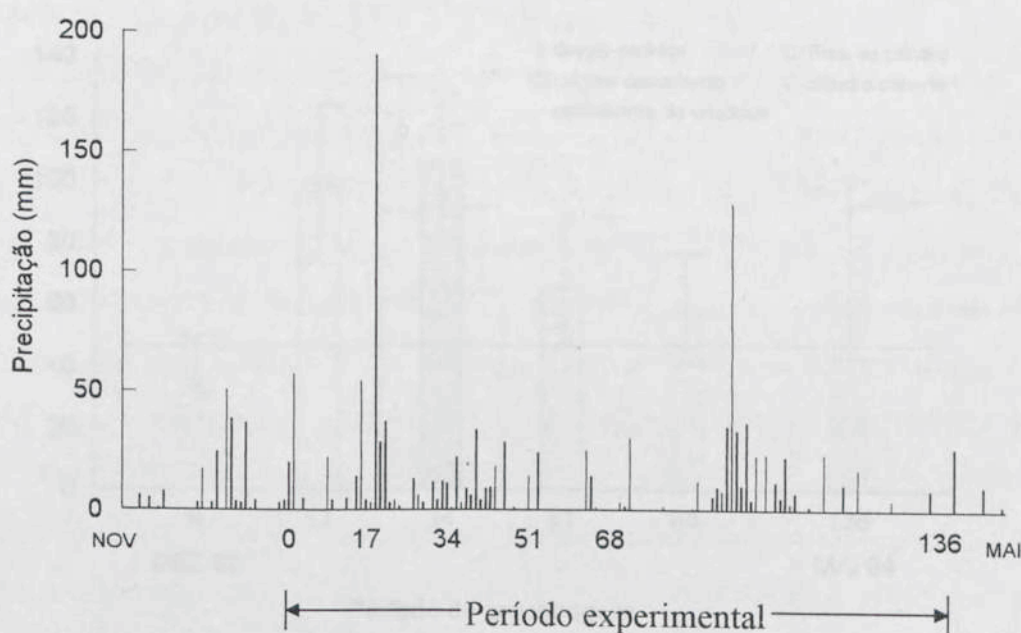


Figura 1 - Precipitação pluviométrica diária durante o período de condução do experimento.

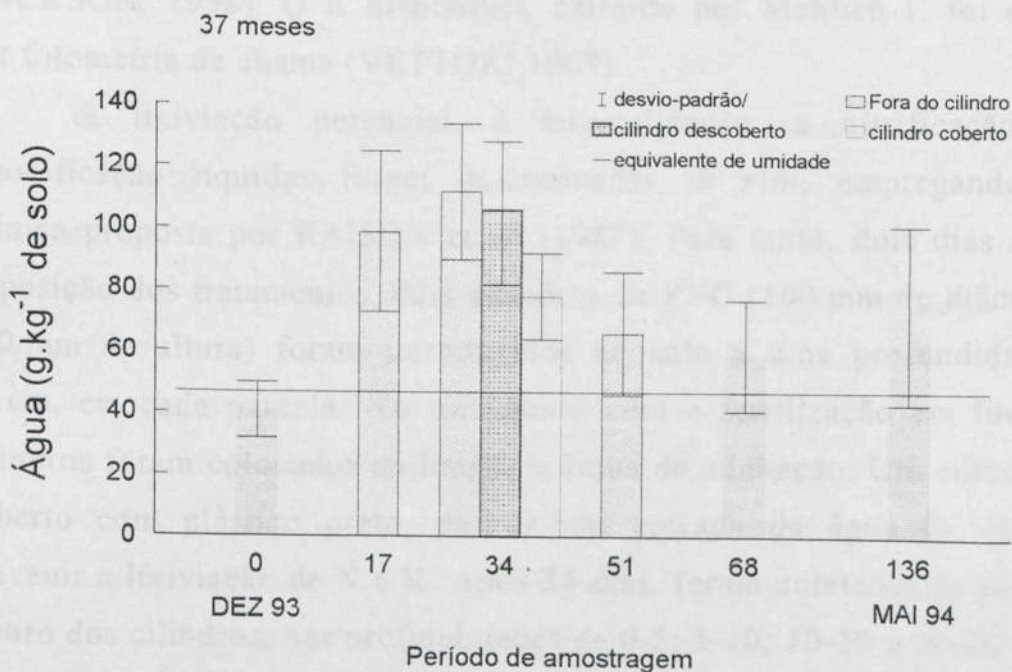
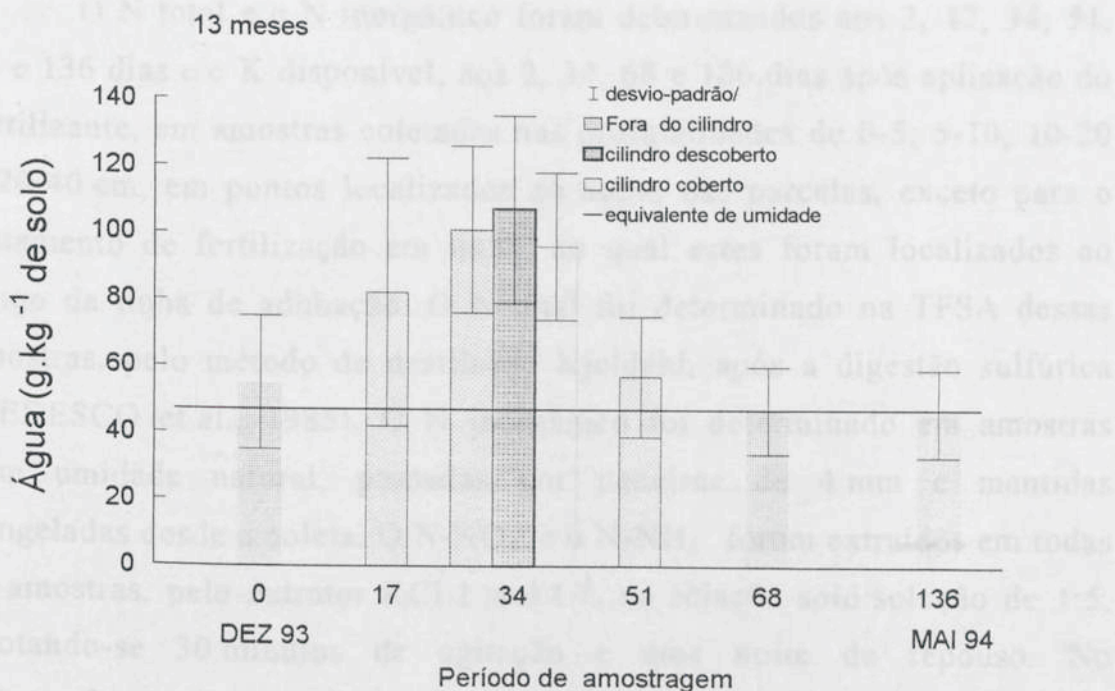


Figura 2 - Teor médio de água no solo, na camada de 0-40 cm, nos povoamentos de *E. camaldulensis* com 13 e 37 meses de idade, durante o período de avaliação.

Avaliaram-se N total, N inorgânico (N-NO_3^- e N-NH_4^+), mineralização, nitrificação e amonificação líquidas, K disponível, e lixiviação potencial de N e de K.

O N total e o N inorgânico foram determinados aos 2, 17, 34, 51, 68 e 136 dias e o K disponível, aos 2, 34, 68 e 136 dias após aplicação do fertilizante, em amostras coletadas nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm, em pontos localizados ao acaso nas parcelas, exceto para o tratamento de fertilização em linha, no qual estes foram localizados ao longo da linha de adubação. O N total foi determinado na TFSA dessas amostras, pelo método de destilação Kjeldahl, após a digestão sulfúrica (TEDESCO et al., 1985). O N inorgânico foi determinado em amostras com umidade natural, passadas por peneiras de 4 mm e mantidas congeladas desde a coleta. O N-NO_3^- e o N-NH_4^+ foram extraídos em todas as amostras, pelo extrator KCl 1 mol.L⁻¹, na relação solo:solução de 1:5, adotando-se 30 minutos de agitação e uma noite de repouso. No sobrenadante, determinaram-se o N-NO_3^- colorimetricamente, pela reação de Griss-Llosvay (ALVES, 1992), e o N-NH_4^+ , pela reação de Nesller (JACKSON, 1958). O K disponível, extraído por Mehlich-1, foi dosado por fotometria de chama (VETTORI, 1969).

A lixiviação potencial, a mineralização, a nitrificação e a amonificação líquidas foram determinadas *in situ*, empregando-se a técnica proposta por RAISON et al. (1987). Para tanto, dois dias após a imposição dos tratamentos, dois cilindros de PVC (100 mm de diâmetro x 500 mm de altura) foram introduzidos no solo a uma profundidade de 40 cm, em cada parcela. No tratamento com a fertilização em linha, os cilindros foram colocados ao longo da linha de adubação. Um cilindro foi coberto com plástico preto, para evitar entrada da água de chuva e prevenir a lixiviação de N e K. Após 34 dias, foram coletadas as amostras dentro dos cilindros, nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm, as quais foram passadas por peneira de 4 mm e armazenadas congeladas até a análise. O N-NO_3^- e o N-NH_4^+ foram extraídos e determinados como descrito anteriormente. A nitrificação e a amonificação líquidas foram

estimadas pela variação nos teores de N-NO_3^- e N-NH_4^+ nas amostras coletadas fora dos cilindros, dois dias após a imposição dos tratamentos, e nas amostras coletadas aos 34 dias dentro dos cilindros cobertos, respectivamente. A mineralização líquida foi estimada de forma semelhante, considerando-se as variações globais das formas de N inorgânico. A lixiviação potencial foi estimada pela variação entre os teores de N inorgânico e K disponível nas amostras coletadas aos 34 dias, nos cilindros cobertos e descobertos.

Em todas as determinações, os teores de N foram expressos com base em solo seco em estufa a 105°C , por 24 horas.

Para avaliar o efeito de tratamentos nas quatro camadas de solo, os resultados foram submetidos à análise de variância, seguindo um esquema fatorial para culturas perenes (VESSEREAU, 1960), considerando as amostragens no tempo como um dos fatores.

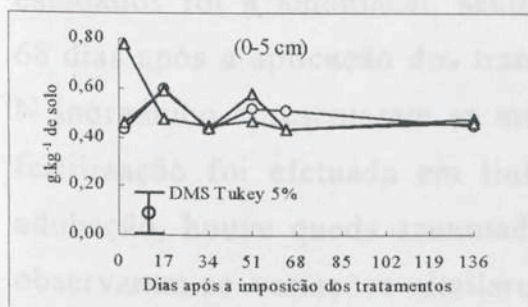
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. N total

Os teores de N total para o solo sob o eucalipto, em ambas as idades, variaram entre 0,30 e 0,80 g.kg^{-1} (Figura 3), sendo inferiores aos encontrados por COSTA (1995) (entre 0,60 e 2,00 g.kg^{-1} , nas camadas de 0-40 cm), em povoamentos de eucalipto na costa norte do Estado de Espírito Santo.

Os maiores teores nas camadas mais superficiais se devem à deposição de resíduos vegetais do cultivo anterior. Variações significativas (Tukey, $P < 0,05$) nos teores de N total decorrentes dos tratamentos foram observadas somente para a primeira amostragem, nas profundidades 0-5 e 5-10 cm, no tratamento em que o fertilizante foi aplicado em linha, o que elevou a concentração de N. Nas amostragens subseqüentes e em outras camadas de solo, o teor de N total foi similar no solo correspondente a todos tratamentos e idade do povoamento.

13 meses



37 meses

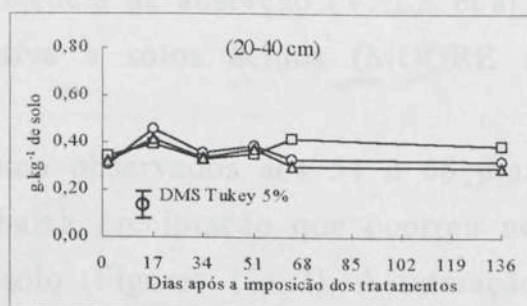
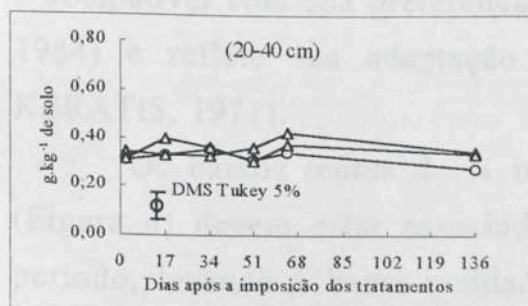
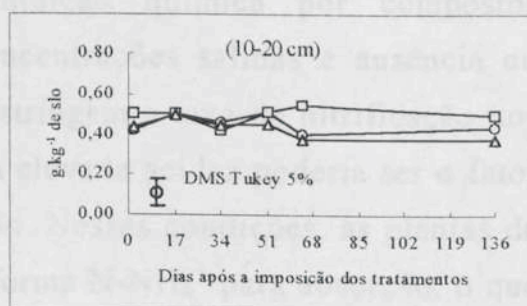
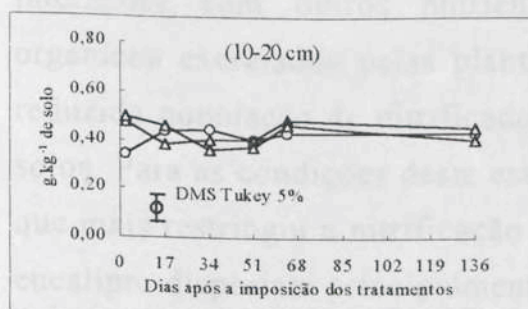
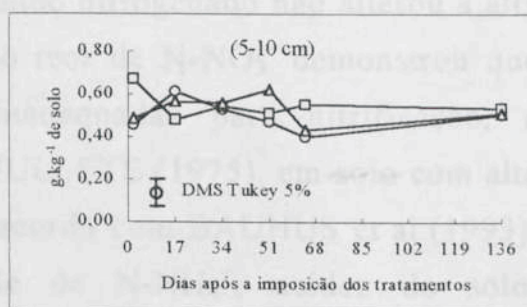
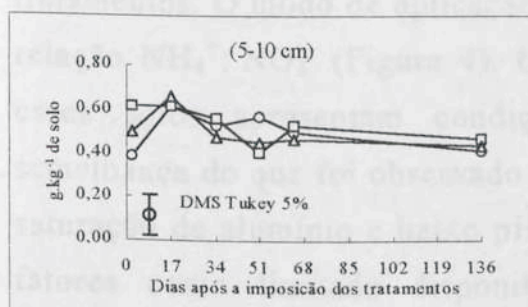
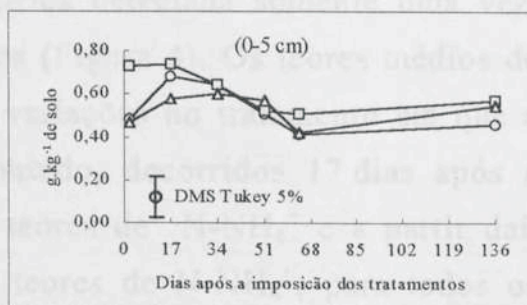


Figura 3 - Variações nos teores de N total nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm de solo de cerrado, sob povoamentos *E. camaldulensis* com idade de 13 e 37 meses, influenciadas pelo modo de aplicação do fertilizante NK (ausência de adubação = $\circ$; adubação em linha = $\square$; e adubação em área total = $\triangle$), em João Pinheiro, Minas Gerais.

3.2. N inorgânico

A forma predominante de nitrogênio inorgânico nos solos estudados foi a amoniacal, sendo a nítrica detectada somente uma vez, 68 dias após a aplicação dos tratamentos (Figura 4). Os teores médios de N inorgânico apresentaram as maiores variações no tratamento em que a fertilização foi efetuada em linha. Contudo, decorridos 17 dias após a adubação, houve queda acentuada nos teores de N-NH_4^+ e a partir daí, observaram-se variações similares nos teores de N-NH_4^+ , para todos os tratamentos. O modo de aplicação do adubo nitrogenado não alterou a alta relação $\text{NH}_4^+ : \text{NO}_3^-$ (Figura 4). O baixo teor de N-NO_3^- demonstrou que esses solos apresentam condições inadequadas para nitrificação, à semelhança do que foi observado por MULLETE (1975), em solo com alta saturação de alumínio e baixo pH. De acordo com BAUHUS et al. (1993), fatores como limitada disponibilidade de N-NH_4^+ , acidez do solo, interações com outros nutrientes, inibição química por compostos orgânicos excretados pelas plantas, concentrações salinas e ausência ou reduzida população de nitrificadores restringem a taxa de nitrificação nos solos. Para as condições deste estudo, a elevada acidez poderia ser o fator que mais restringiu a nitrificação no solo. Nessas condições, as plantas de eucalipto dispõem principalmente da forma N-NH_4^+ para absorção, o que é compatível com sua preferência e eficiência de absorção (VALE et al., 1984) e reflete sua adaptação evolutiva a solos ácidos (MOORE e KERATIS, 1971).

Os baixos teores de N inorgânico observados aos 51 e 68 dias (Figura 4) devem estar associados à baixa precipitação que ocorreu no período, levando à baixa umidade do solo (Figuras 1 e 2). A interação entre umidade e dinâmica do N inorgânico é bastante complexa, envolvendo o balanço entre a mineralização, a imobilização, a absorção preferencial pelas plantas (NEILL et al., 1995) e as perdas do nutriente por lixiviação e volatilização. Os resultados aqui relatados não possibilitam explicar tais interações, mas traduzem a complexidade da estimativa precisa da disponibilidade de N.

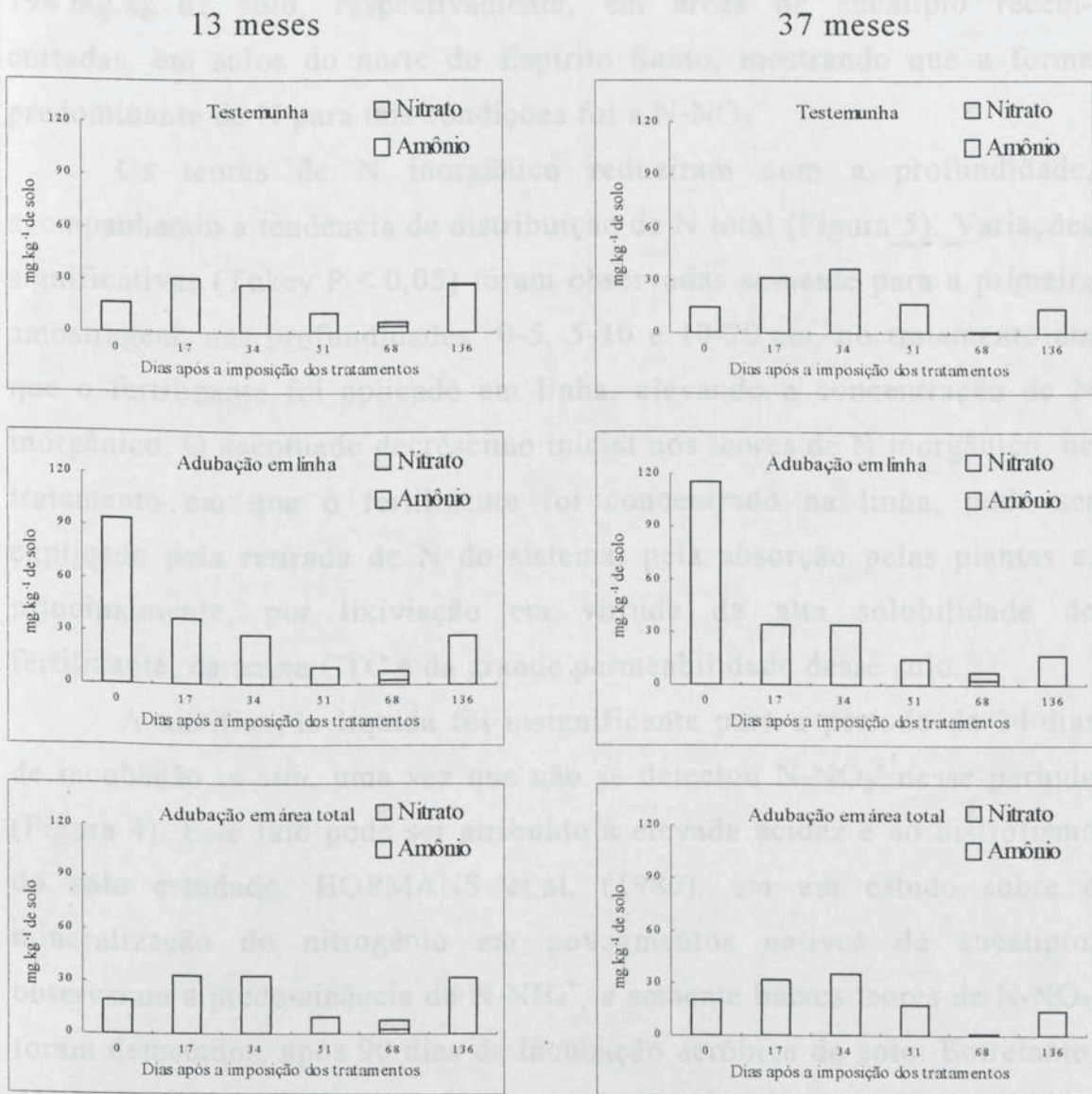


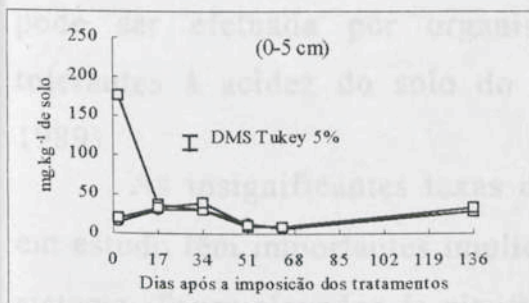
Figura 4 - Teores médios de nitrato e de amônio em povoamentos de *E. camaldulensis*, de 13 e 37 meses de idade, influenciados pelo modo de aplicação do fertilizante NK, nas camadas de 0-40 cm, em João Pinheiro, Minas Gerais.

Os teores de N inorgânico variaram de 5 a 250 mg.kg⁻¹ de solo, sendo o maior valor observado na camada de 0-5 cm, no período imediatamente após a aplicação do fertilizante em linha. Este valor caiu drasticamente nos primeiros 17 dias, se igualando aos dos demais tratamentos daí para frente, isto é, com flutuações que atingiram no máximo valores próximos a 60 mg.kg⁻¹ de solo (Figura 5). COSTA (1995) detectou teores de N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ que variaram de 0 a 9 e de 1 a 194 mg.kg⁻¹ de solo, respectivamente, em áreas de eucalipto recém-cortadas, em solos do norte do Espírito Santo, mostrando que a forma predominante de N para tais condições foi a N-NO₃⁻.

Os teores de N inorgânico reduziram com a profundidade, acompanhando a tendência de distribuição de N total (Figura 5). Variações significativas (Tukey P < 0,05) foram observadas somente para a primeira amostragem, nas profundidades 0-5, 5-10 e 10-20 cm, no tratamento em que o fertilizante foi aplicado em linha, elevando a concentração de N inorgânico. O acentuado decréscimo inicial nos teores de N inorgânico, no tratamento em que o fertilizante foi concentrado na linha, pode ser explicado pela retirada de N do sistema, pela absorção pelas plantas e, principalmente, por lixiviação em virtude da alta solubilidade do fertilizante, da baixa CTC e da grande permeabilidade desse solo.

A nitrificação líquida foi insignificante para o período de 34 dias de incubação *in situ*, uma vez que não se detectou N-NO₃⁻ nesse período (Figura 4). Este fato pode ser atribuído à elevada acidez e ao distrofismo do solo estudado. HOPMANS et al. (1980), em um estudo sobre a mineralização do nitrogênio em povoamentos nativos de eucalipto, observaram a predominância do N-NH₄⁺, e somente baixos teores de N-NO₃⁻ foram detectados, após 90 dias de incubação aeróbica do solo. Entretanto, PICOLO et al. (1994) verificaram taxas de produção de N-NO₃⁻ significativamente maiores que as taxas de produção de N-NH₄⁺ em solos sob florestas tropicais.

13 meses



37 meses

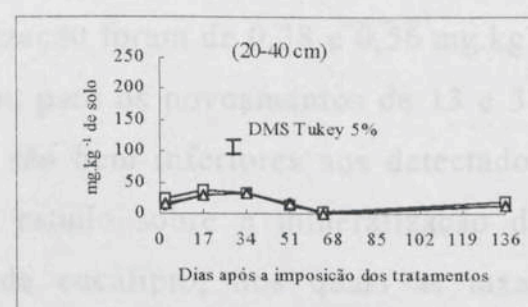
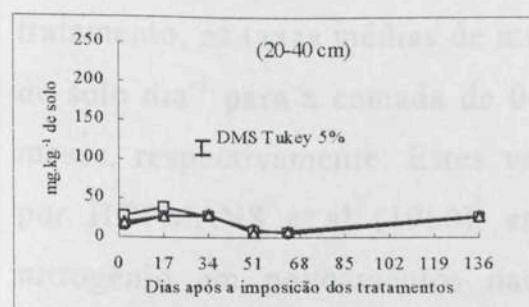
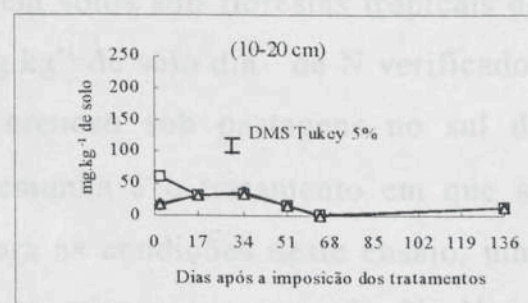
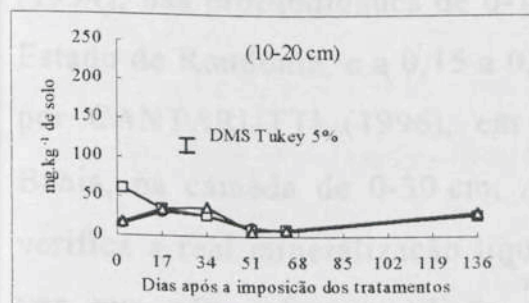
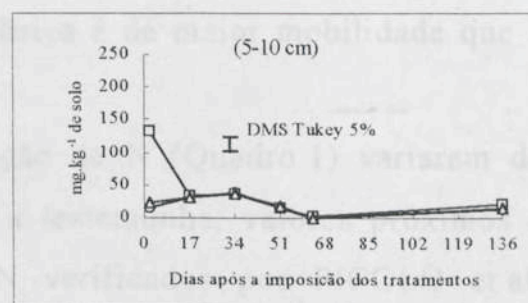
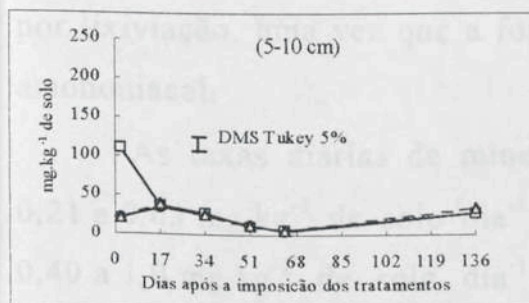
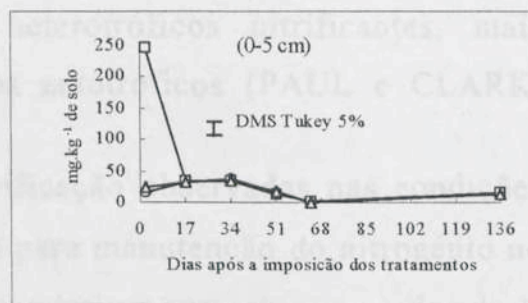


Figura 5 - Variações nos teores de N inorgânico ($\text{N-NO}_3^- + \text{N-NH}_4^+$) nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm de solo de cerrado, sob povoamentos de *E. camaldulensis*, de 13 e 37 meses de idade, influenciadas pelo modo de aplicação do fertilizante NK (ausência de adubação = $\circ$; adubação em linha = $\square$; e adubação em área total = $\triangle$), em João Pinheiro, Minas Gerais.

Em condições de laboratório, a nitrificação praticamente não é observada em valores de pH menores que 6,0. Contudo, em condições de solos florestais, a produção do N-NO_3^- pode ser constatada em valores de pH menores que 4,0 (COSTA, 1995). Nessas condições, a nitrificação pode ser efetuada por organismos heterotróficos nitrificantes, mais tolerantes à acidez do solo do que os autotróficos (PAUL e CLARK, 1989).

As insignificantes taxas de nitrificação observadas nas condições em estudo têm importantes implicações para manutenção do nitrogênio no sistema. Taxas elevadas de nitrificação poderiam aumentar as perdas de N por lixiviação, uma vez que a forma nítrica é de maior mobilidade que a amoniacal.

As taxas diárias de mineralização de N (Quadro 1) variaram de 0,21 a 0,63 mg.kg^{-1} de solo dia^{-1} para a testemunha, valores próximos a 0,40 a 1,0 mg.kg^{-1} de solo dia^{-1} de N verificados por PICOLO et al. (1994), nas profundidades de 0-10 cm em solos sob florestas tropicais do Estado de Rondônia, e a 0,15 a 0,70 mg.kg^{-1} de solo dia^{-1} de N verificados por CANTARUTTI (1996), em solo arenoso sob pastagens no sul da Bahia, na camada de 0-30 cm. A testemunha é o tratamento em que se verifica a real mineralização líquida para as condições deste ensaio, uma vez que não sofreu a adição de fonte mineral externa de N. Neste tratamento, as taxas médias de mineralização foram de 0,38 e 0,56 mg.kg^{-1} de solo dia^{-1} para a camada de 0-40 cm, para os povoamentos de 13 e 37 meses, respectivamente. Estes valores são bem inferiores aos detectados por HOPMANS et al. (1980), em um estudo sobre a mineralização de nitrogênio em povoamentos nativos de eucalipto, nos quais as taxas alcançaram até 4,26 mg.kg^{-1} de solo dia^{-1} na camada de solo de 0-3 cm. A magnitude deste valor é compreensível, pois nessa camada a atividade microbiana é mais intensa do que em camadas mais inferiores.

Quadro 1 - Taxas diárias de mineralização líquida de N *in situ*^{1/ 2/} (mg.kg⁻¹ de solo) em solo arenoso de cerrado sob *E. camaldulensis*, em povoamentos de 13 e 37 meses, influenciadas pelo modo de aplicação do fertilizante NK, em João Pinheiro, Minas Gerais

13 meses		37 meses	
Testemunha		Testemunha	
0-05 cm	0,43 ± 0,08	0-05 cm	0,53 ± 0,04
5-10 cm	0,21 ± 0,10	5-10 cm	0,63 ± 0,14
10-20 cm	0,38 ± 0,08	10-20 cm	0,61 ± 0,17
20-40 cm	0,42 ± 0,03	20-40 cm	0,52 ± 0,04
Adubação em linha ^{3/}		Adubação em linha ^{3/}	
0-05 cm	-3,36 ± 1,50	0-05 cm	-2,53 ± 2,84
5-10 cm	-0,13 ± 0,70	5-10 cm	1,76 ± 1,01
10-20 cm	-0,46 ± 0,52	10-20 cm	2,28 ± 0,57
20-40 cm	0,41 ± 0,26	20-40 cm	2,64 ± 0,39
Adubação em área total		Adubação em área total	
0-05 cm	0,14 ± 0,19	0-05 cm	0,28 ± 0,23
5-10 cm	0,14 ± 0,15	5-10 cm	0,36 ± 0,18
10-20 cm	0,21 ± 0,16	10-20 cm	0,50 ± 0,16
20-40 cm	0,13 ± 0,37	20-40 cm	0,48 ± 0,06

^{1/} Médias ± desvios-padrão.
^{2/} Valores negativos indicam imobilização.
^{3/} Estimada sobre a linha de aplicação do fertilizante.

A mineralização para o povoamento de 37 meses foi superior à verificada no povoamento de 13 meses (Quadro 1), fato que deve ser atribuído à melhor cobertura pelas copas das árvores, que também proporcionam maior produção de "litter", reduzindo a amplitude de variação térmica e de umidade para as camadas mais superficiais do solo.

A adição da fonte externa de N diminuiu a mineralização líquida, a ponto de promover imobilização líquida no tratamento em que o fertilizante foi aplicado em linha, sendo tal fato observado somente sob a faixa de aplicação do fertilizante. Tais resultados são inesperados e contrários aos observados por RAISON et al. (1987), que verificaram que a fertilização nitrogenada em povoamentos de *Pinus radiata* quadruplicou a taxa de mineralização *in situ*, elevando-a de 2,4 para 9,7 mg.kg⁻¹ de solo de N, após um período de 70 dias. Para tais condições, o N-NO₃⁻ foi a forma predominante.

Os valores de lixiviação potencial máxima e de mineralização líquida, estimados de acordo com a metodologia proposta por RAISON et al. (1987), são apresentados no Quadro 2. Contudo, a alta variabilidade dos resultados, expressa pelo desvio-padrão, evidencia a dificuldade de se obter uma estimativa precisa dos fluxos de N e ressalta a heterogeneidade provocada pela adição do fertilizante nitrogenado, principalmente quando este foi concentrado na linha. A variabilidade aqui observada foi maior que a verificada por RAISON et al. (1987) (30-98%, para os 70 dias após a fertilização). Somente para o tratamento em que não houve a aplicação de fonte mineral de N, o desvio-padrão permaneceu dentro dos limites verificados por esses autores, que preconizam coeficiente de variação menor que 20%. Dessa forma, os valores devem ser considerados como tendências, para que possam auxiliar no entendimento do comportamento do nitrogênio no solo, quando aplicado via fertilizante em povoamentos de eucalipto.

Quadro 2 - Fluxos estimados de N inorgânico, na camada de 0-40 cm^{1/2/}, para o período de 0-34 dias^{3/} após imposição dos tratamentos em povoamentos de 13 e 37 meses de *E. camaldulensis*, em João Pinheiro, Minas Gerais

	Mineralização Líquida		Lixiviação Potencial Máxima	
	13 meses	37 meses	13 meses	37 meses
	kg.ha ⁻¹			
Testemunha	73,0 (12,0)	107,0 (17,0)	1,0 (16,0)	10,0 (44,0)
Adubação em linha ^{4/}	68,0 (15,0)	115,0 (22,0)	6,0 (18,0)	29,0 (47,0)
Adubação em área total	29,0 (51,0)	86,0 (24,0)	0	4,0 (20,6)

^{1/} Valores corrigidos com base em TFSE e densidade 1,41 g.dm⁻³ de solo.

^{2/} Valores entre parênteses correspondem aos desvios-padrão (n=6).

^{3/} Período de 4 de dezembro de 1993 até 6 de janeiro de 1994 (0-34 dias após a fertilização).

^{4/} Estimativa considerando 0,10 m faixa de aplicação do fertilizante.

A mineralização líquida e a lixiviação potencial máxima de N foram influenciadas pela forma de aplicação do fertilizante nitrogenado e potássico, sendo os maiores valores observados quando o fertilizante foi adicionado em linha para o povoamento de 37 meses. Entretanto, tais valores deverão aumentar substancialmente, considerando somente a faixa de concentração do fertilizante. Tais valores indicam que a aplicação do fertilizante em linha confere uma maior taxa de mineralização. Deste modo, a elevação dos teores de N sob a forma inorgânica favorece as perdas por lixiviação. A metodologia proposta por RAISON et al. (1987) apresenta uma série de vantagens, como a manutenção do solo intacto e em suas condições naturais, permitindo que o regime de temperatura e umidade do solo corresponda ao das condições de campo. Isso minimiza as alterações nos fluxos de nitrogênio, em comparação ao ensaio conduzido em condições diferentes das verificadas *in situ*. Entretanto, a heterogeneidade da distribuição espacial do N verificada, neste estudo, pela concentração do fertilizante na linha de aplicação e refletida nos elevados desvios-padrão faz com que seu uso deva ser efetuado com algumas restrições e adequações, dependendo de cada situação e objetivo do trabalho.

3.3. K disponível

Os teores de K disponível variaram de 7 a 163 mg.kg⁻¹ de solo (Figura 6), sendo os maiores teores observados, nas camadas mais superficiais, quando o fertilizante foi aplicado em linha. Contudo, esses teores reduziram com o aumento da profundidade. Variações significativas nos teores de K disponível foram detectadas somente para o tratamento em que o fertilizante foi aplicado em linha, tendo no povoamento de 13 meses essas diferenças sido observadas nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm; até 34 dias após os tratamentos. Para o povoamento de 37 meses, esse efeito prolongou-se até os 68 dias após os tratamentos, nas camadas de 0-5 e 5-10 cm.

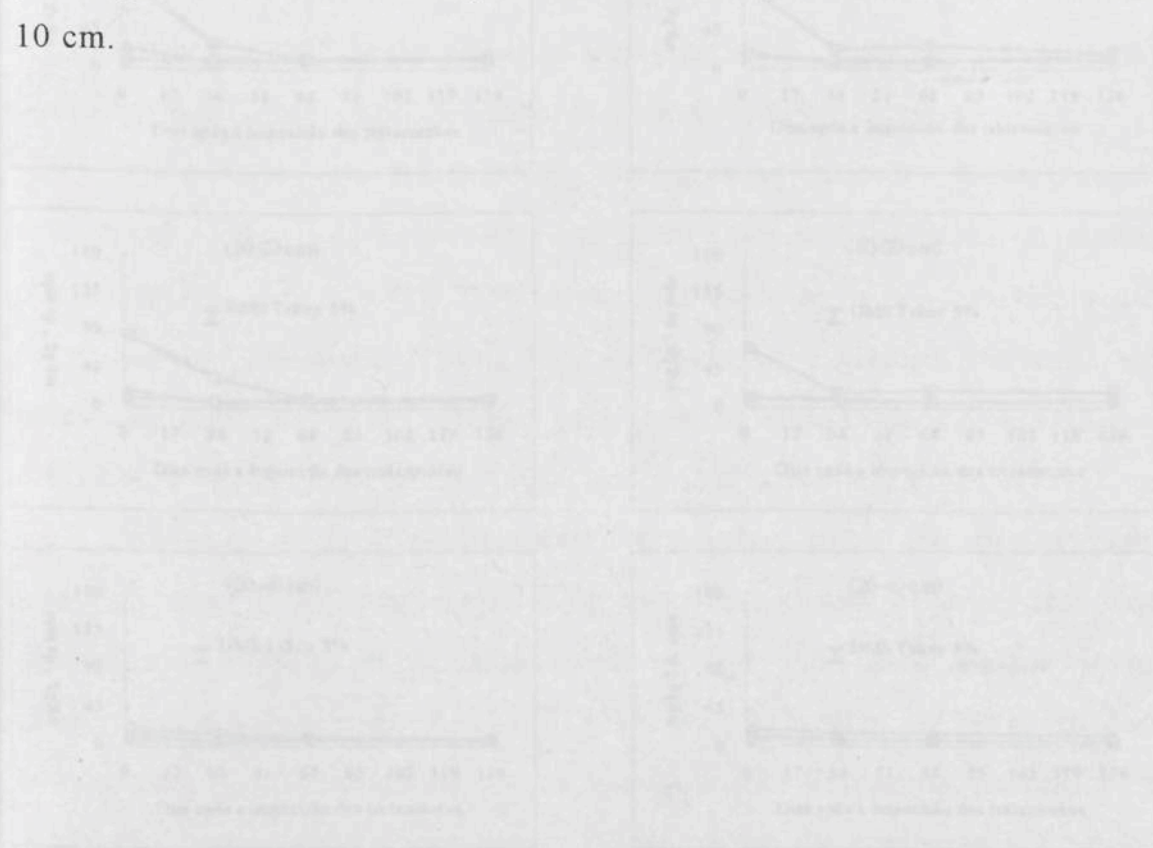


Figura 5 - Variações nos teores de K disponível nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm do solo de cerrado, sob povoamentos de *E. camaldulensis* com 13 e 37 meses, influenciadas pelo modo de aplicação do fertilizante NK (ausência de adubação = 0; adubação em linha = 1; e adubação em área total = 2), em João Pinheiro, Minas Gerais.

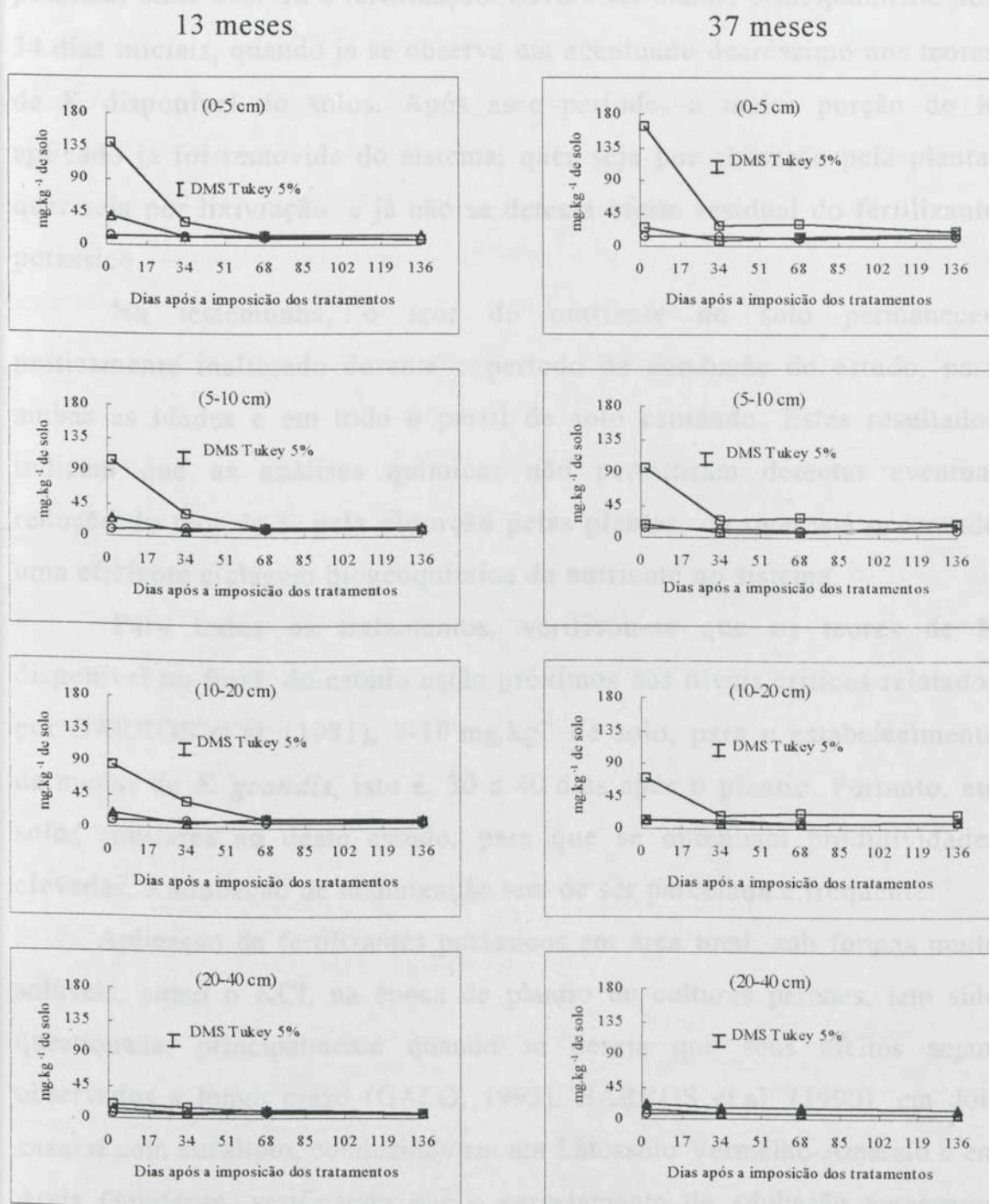


Figura 6 - Variações nos teores de K disponível nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm de solo de cerrado, sob povoamentos de *E. camaldulensis* com 13 e 37 meses, influenciadas pelo modo de aplicação do fertilizante NK (ausência de adubação = $\circ$; adubação em linha = $\square$; e adubação em área total = $\triangle$), em João Pinheiro, Minas Gerais.

Os resultados obtidos para os tratamentos sugerem que em Areia Quartzosa a intensidade de fenômenos como absorção e lixiviação do potássio, onde ocorreu a fertilização, deverá ser maior, principalmente nos 34 dias iniciais, quando já se observa um acentuado decréscimo nos teores de K disponível do solos. Após esse período, a maior porção do K aplicado já foi removida do sistema, quer seja por absorção pela planta, quer seja por lixiviação, e já não se detecta efeito residual do fertilizante potássico.

Na testemunha, o teor do nutriente no solo permaneceu praticamente inalterado durante o período de condução do estudo, para ambas as idades e em todo o perfil de solo estudado. Estes resultados indicam que as análises químicas não permitiram detectar eventual redução do teor de K pela absorção pelas plantas, ou que está ocorrendo uma eficiente ciclagem biogeoquímica do nutriente no sistema.

Para todos os tratamentos, verificou-se que os teores de K disponível no final do estudo estão próximos aos níveis críticos relatados por BARROS et al. (1981), 7-10 mg.kg⁻¹ de solo, para o estabelecimento de mudas de *E. grandis*, isto é, 30 a 40 dias após o plantio. Portanto, em solos similares ao deste estudo, para que se obtenham produtividades elevadas, a adubação de manutenção tem de ser parcelada e freqüente.

Aplicação de fertilizantes potássicos em área total, sob formas muito solúveis, como o KCl, na época de plantio de culturas perenes, tem sido questionada, principalmente quando se deseja que seus efeitos sejam observados a longo prazo (GALO, 1993). BARROS et al. (1990), em dois ensaios com eucalipto, conduzidos em um Latossolo Vermelho-Amarelo e em Areia Quartzosa, verificaram que o parcelamento da adubação apresentou tendência de ser mais efetiva no solo arenoso, não apresentando efeito quando o solo era argiloso. Portanto, aplicações de fertilizantes potássicos sob formas muito solúveis, em solos arenosos de cerrado, devem ser efetuadas de forma parcelada, para reduzir as perdas por lixiviação.

A maior parte do K disponível encontrava-se nas camadas mais superficiais 0-20 cm (Figura 6), o que é comum em plantios florestais, em decorrência do acúmulo e da decomposição da serapilheira e da lavagem da copa (GALO, 1993), principalmente para o potássio, que está sujeito a altas taxas de ciclagem biogeoquímica, especialmente em solos mais intemperizados, onde a biomassa vegetal é o principal reservatório de nutrientes (REIS e BARROS, 1990).

A lixiviação potencial foi influenciada pela forma de aplicação do fertilizante potássico (Quadro 3), sendo os maiores valores observados quando o fertilizante foi aplicado em área total para o povoamento de 13 meses. Entretanto, tais valores deverão ser substancialmente alterados, considerando-se somente a estreita faixa de concentração do fertilizante, para o tratamento em que este foi aplicado em linha, quando se observa uma maior lixiviação potencial de K sob a faixa de aplicação do fertilizante. Dessa forma, as perdas por lixiviação seriam bem maiores. Contudo, a alta variabilidade dos resultados decorrentes da metodologia utilizadas não permitiu detectar precisamente os fluxos do K no solo.

Quadro 3 - Lixiviação potencial estimada de K, na camada de 0-40 cm^{1/2/}, para o período de 0-34 dias^{3/} após imposição dos tratamentos em povoamentos de 13 e 37 meses de *E. camaldulensis*, em João Pinheiro, Minas Gerais

	Lixiviação Potencial Máxima ^{1/}	
	13 meses	37 meses
	kg. ha ⁻¹	
Testemunha	5,0 (18,0)	0
Adubação em linha ^{4/}	8,0 (21,0)	4,0 (2,5)
Adubação em área total	39,0 (31,0)	16,0 (32,0)

^{1/} Valores corrigidos com base em TFSE e densidade 1,41 g.cm⁻³ de solo.

^{2/} Valores entre parênteses correspondem ao desvio-padrão (n=6).

^{3/} Período de 4 de dezembro de 1993 até 6 de janeiro de 1994 (0-34 dias após a fertilização).

^{4/} Estimativa considerando 0,10 m faixa de aplicação do fertilizante.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos mostram que a adição de fertilizante nitrogenado e potássico favoreceu a dinâmica de N e do K nos solos sob *E. camaldulensis*, principalmente no tratamento em que o fertilizante foi aplicado em linha. Nas condições do trabalho, não se detectou nitrificação, sendo o amônio a forma predominante de N inorgânico no solo. A lixiviação de N, na forma amoniacal, e de K após a fertilização ocorre em um curto período de tempo, havendo uma rápida redução nos teores de nitrogênio e potássio no solo, pouco tempo após a sua aplicação a Areia Quartzosa. Por isto, o parcelamento da adubação e o uso de técnicas de manejo que proporcionem maior absorção e acumulação de nutrientes na biomassa florestal parecem ser essenciais para manutenção da produtividade florestal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADÂMOLI, J., MACÊDO, J., AZEVEDO, L.G., NETO, J.M.
Caracterização da Região dos Cerrados. In: GODERT, W.J., (Ed.)
Solos dos cerrados: tecnologia e estratégias de manejo. São Paulo:
Nobel/Brasília: EMBRAPA/CPAC, 1987. p.33-74.
- ALVES, B.J.R. **Avaliação da mineralização do N do solo *in situ***. Itajaí:
Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1992. 177p. Dissertação
(Mestrado em Fitotecnia) Universidade Federal do Rio de Janeiro,
1992.
- BARROS, N.F., BRAGA, J.M., BRANDI, R.M., DEFELIPO, B.V.
Produção de eucalipto em solos de cerrados em resposta à aplicação de
NPK de B e Zn. **Rev. Árvore**, v.5, n.1, p.90-103, 1981.
- 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: Folha de Viçosa, 1990. p.127-
186.

- BARROS, N.F., PRITCHETT, W.L. Effect of sources and rates of nitrogen on growth and composition of *Eucalyptus grandis*. **Soil Crop. Sci. Soc. Fla. Proc.**, v.38, n.1, p.101-104, 1979.
- BARROS, N.F., SILVA, O.M., PEREIRA, A.R., BRAGA, J.M., LUDWIG, A. Análise de crescimento de *Eucalyptus saligna* em solo de cerrado sob diferentes níveis de N, P e K no Vale do Jequitinhonha, MG. **IPEF**, n.26, p.13-17, 1984.
- BAUHUS, J., KHANNA, P.K., RAISON, R.J. The effect of fire on carbon and nitrogen mineralization and nitrification in an Australian forest soil. **Aust. J. Soil Res.**, v.31, n.5, p.621-639, 1993
- BRANDI, R.M., BARROS, N.F., VALE, A.B. Ensaio de adubação de *Eucalyptus spp*. **Rev. Ceres**, v.18, n.96, p.151-158, 1971.
- BRANDI, R.M., CANDIDO, J.F., BRAGA, J.M., BARROS, N.F. Efeito da adubação NPK no desenvolvimento inicial de mudas de *Eucalyptus citriodora* Hook. **Rev. Ceres**, v.24, n.134, p.405-411, 1977.
- CANTARUTTI, R.B. **Dinâmica de nitrogênio em pastagens de *Brachiaria humidicola* em monocultivo e consorciada com *Desmodium ovalifolium* Cv. Itabela no sul da Bahia.** Viçosa MG, Universidade Federal de Viçosa Universidade Federal de Viçosa, 1996. 83p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1996.
- COSTA, M.D. **Atividade biológica e liberação de nutrientes em resíduos da exploração de povoamentos de eucalipto.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1995. 91p. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1995.
- DURIEZ, M.M. **Movimentação e lixiviação de cálcio e potássio em resposta à calagem e adubação potássica em colunas de solos.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1994. 102p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1994.
- FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS - FCTMG. **Diagnóstico ambiental do Estado de Minas Gerais.** Belo Horizonte: CETEC, 1983. 158p.

- GALO, M.V. **Resposta do eucalipto à aplicação de potássio em solo de cerrado**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1993. 40p.
Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1993.
- HOPMANS, P., FLINN, D.W., FARRELL, P.W. Nitrogen mineralization in a sandy soil under native eucalypt forest and exotic pine plantations in relation to moisture content. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, v.11, n.1, p.71-79, 1980.
- JACKSON, M.L. **Soil chemical analysis**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1958. 458p.
- LOPES, A.S. **A Survey of the fertility status of soils under "cerrado vegetation in Brazil"**. Raleigh, NC: North Carolina University, 1975. 138p. Dissertação (Mestrado em Solos) NC: North Carolina University, 1975.
- MELLO H.A., MASCARENHAS SOBRINHO, J., SIMÕES, J.W., COUTO, H.T.Z. Resultados da aplicação de fertilizantes minerais na produção de madeira de *Eucalyptus saligna* em solos de cerrado do estado de São Paulo. **IPEF**, n.1, p.7-26, 1970.
- MOORE, C.W.E., KERATIS, K. Effect of nitrogen source on growth of eucalyptus in sand culture. **Aust. J. Bot.**, v.19, n.1, p.125-141, 1971.
- MORAIS, E.J. **Crescimento e eficiência nutricional de espécies de Eucalipto em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1988. 56p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1988.
- MULLETE, K.J. Stimulation of growth in Eucalyptus due to aluminion. **Plant Soil**, v.42, n.3, p.495-499, 1975.
- NEILL, C., PICOLLO, M.C., STEUDELER, P.A., MELILLO, J.M., FEIGL, B.J., CERRI, C.C. Nitrogen dynamics in soils of forests and active pastures in the western brazilian Amazon basin. **Soil Biol. Biochem.**, v.27, n.9, p.1167-1175, 1995.
- PAUL, E.A. e CLARK, F.E. **Soil microbiology and biochemistry**. San Diego: Academic Press, 1989, 273p.

- PICOLO, M.C., NEILL, C., CERRI, C. Net nitrogen mineralization and net nitrification along a tropical forest-to-pasture chronosequence. **Plant Soil**, v.162, n.1, p.61-70, 1994.
- RAISON, R.J.; CONNEL, M.J., KHANA, P.K. Methodology for studying fluxes of soil mineral N in situ. **Soil Biol. Biochem.**, v.19, n.5, p.521-530, 1987.
- RANWELL, J.F., KIRK, R.D., MULLINS, A.J. An preliminar study on the response of timber in the Trankei to fertilization. **Fert. Soc. Soil African J.**, v.1, n.1, p.9-14, 1974.
- 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, 1990. p.265-302.
- SANTANA, R.C. **Crescimento e eficiência nutricional de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em sítios do Estado de São Paulo**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1994. 73p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1994.
- SANTANA, R.C., CHAVES, R., NOVAIS, R.F., BARROS, N.F. Modo de aplicação da adubação de manutenção em povoamento de *Eucalyptus grandis* em áreas da DURATEX S.A. no município de Lençóis Paulista, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, 1995, Viçosa. **Resumos...**, Viçosa: UFV, 1995. v.2, p.869-870.
- SOUZA, D.M.G., RITCHEY, K.D., LOBATO, E., GOEDERT, W.J. Potássio em solo de cerrado, II - Balanço no solo. **Rev. bras. Ci. Solo**, v.3, n.1, p.31-39, 1979.
- TEDESCO, J.M., WOLKWEISS, S.J., BOHEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1985. 156p. (Boletim Técnico, 5)
- TEIXEIRA, J.L. **Conteúdo de nutrientes e produção de eucalipto em diferentes ambientes do Rio Doce, MG**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1987. 70p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) Universidade Federal de Viçosa, 1987.

- VALE, F.R., NOVAIS, R.F., BARROS, N.F., SANT'ANA, R. Efeito do alumínio sobre a cinética de absorção de amônio e nitrato em raízes intactas de *Eucalyptus alba*. **Rev. Árvore**, v.8, n.2, p.123-132, 1984.
- VALERI, S.V., CORRADINI, L., FAZZIO, E.C.M., CARRARA, M.A., SOUZA, E.A., AGUIAR, I.B., BANZATTO, D.A., BALERONI, J., ABRAHÃO, I.S. Efeitos da adubação NPK e do calcário dolomítico no desenvolvimento de *Eucalyptus grandis* Hill (ex Maiden). **Silvicultura**, v.1., n.28, p.531-536, 1982; CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4, 1982, Belo Horizonte. **Anais...**, Belo Horizonte: SBS, 1982.
- VASQUEZ, S.S., PACHON, I.F.C. Comportamiento de tres fertilizantes potasicos en un Dystrandept typic. **Cenicafe**, v.35, n.2, p.31-39, 1984.
- VESSEREAU, A. **Methods statistiques en biologie et en agronomie**. Paris: J.-B Bailliére et Fils, 1960. 568p.
- VETTORI, L. **Métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro: EPEMA, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7)
- VILELA, L., SILVA, J.E., RICTCHEY, K.D., SOUSA, D.M.G. Potássio. In: GODERT, W.J. (Ed.) **Solos dos Cerrados: tecnologia e estratégias de manejo**. São Paulo: Nobel/Brasília, EMBRAPA/CPAC, 1987. cap.7, p.203-222.

RESUMO E CONCLUSÕES

O estudo foi realizado entre dezembro de 1993 e abril de 1994, em florestas de *E. camaldulensis*, com 13 e 37 meses de idade, localizadas em João Pinheiro-MG (17°19'S e 46°07'W, 545 m de altitude). A área está sob o domínio do ecossistema de cerrado. O clima local é do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen, tendo uma precipitação média anual de 1353 mm e temperatura média de 22,1°C, com estação seca bem definida. O solo foi classificado como Areia Quartzosa Álica, com A fraco, fase cerrado, relevo plano, apresentando mais de 890 g.kg⁻¹ de areia, nos 40 cm superficiais. As características químicas iniciais eram: pH em H₂O: 4,5; cátions trocáveis - Al: 0,8; Ca: 0,4 e Mg: 0,1 cmol_c. dm⁻³, P e K disponíveis: 5,4 e 13,4 mg.dm⁻³, respectivamente; C: 4,4 g.kg⁻¹; N: 0,4 g.kg⁻¹; e C/N: 11.

Os tratamentos consistiram de uma testemunha sem fertilização e duas formas de aplicação da fórmula 20-0-20: aplicação em linha junto às árvores e aplicação a lanço em toda a área. A dose testada foi de 85 kg.ha⁻¹ de N e 70 kg.ha⁻¹ de K, sendo uréia a fonte de N e cloreto de potássio a fonte de K. A área de cada parcela experimental foi de 150 m² (10 x 15 m), envolvendo, em média, 25 árvores. O delineamento experimental foi o de

blocos casualizados, com seis repetições. Na instalação e depois aos 34, 68, 102 e 136 dias após a fertilização, foram medidas a circunferência à altura do peito (CAP) e a altura das árvores. Na instalação e após 136 dias, foram coletadas amostras das folhas, dos galhos, das cascas e do lenho, para determinação de peso de matéria seca e teores de N e K. As árvores apresentaram maiores: altura média, diâmetro e produção de biomassa no tratamento em que a aplicação dos nutrientes foi feita em linha. As maiores taxas de crescimento, absorção e recuperação de N e de K foram observadas no povoamento mais velho, no qual o fertilizante foi aplicado em linha. A fertilização em área total proporcionou um crescimento superior ao da testemunha, para as características avaliadas. A adição do fertilizante aumentou a absorção de N e de K. Houve maior recuperação dos nutrientes quando aplicados em linha, sendo o povoamento mais velho o mais eficiente na recuperação dos nutrientes adicionados.

No solo, avaliaram-se N total, N inorgânico (N-NO_3^- e N-NH_4^+), mineralização, nitrificação e amonificação líquidas, K disponível e a lixiviação potencial de N e de K.

O N total e o N inorgânico foram determinados aos 2, 17, 34, 51, 68 e 136 dias e o K disponível, aos 2, 34, 68 e 136 dias após aplicação do fertilizante, em amostras coletadas nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm, em pontos localizados ao acaso nas parcelas, exceto para o tratamentos de fertilização em linha, no qual os pontos foram localizados ao longo da linha de adubação. Pelas variações dos teores de N inorgânico, foram estimados os fluxos de N no solo. Decorridos 34 dias após a imposição dos tratamentos, os teores de N inorgânico e total já eram semelhantes aos teores observados antes da fertilização. Os teores de N e as taxas de transformações, de modo geral, diminuíram com o aumento da profundidade do solo. O N total variou de 0,30 a 0,80 g.kg^{-1} de solo e o N inorgânico de 5 a 250 mg.kg^{-1} , sendo os menores valores observados para a testemunha e os maiores para o tratamento em que o fertilizante foi aplicado em linha. As taxas diárias de mineralização de N variaram de

0,21 a 0,63 mg.kg⁻¹ de solo dia⁻¹ para a testemunha e a adição do fertilizante nitrogenado, de modo geral, favoreceu mais a mineralização quando fertilizante foi aplicado em linha, elevando essas taxas a valores de até 2,64 mg.kg⁻¹ de solo dia⁻¹.

O K disponível apresentou valores que variaram de 7 a 164 mg.kg⁻¹ de solo. Os teores de N total, de N inorgânico e de K disponível diminuíram com o aumento da profundidade do solo, sendo os maiores teores detectados no tratamento em que o fertilizante foi aplicado em linha. A lixiviação potencial para N e K foi maior onde a fertilização foi em área total, para o povoamento de 13 meses.

Os resultados deste estudo sugerem que a adição do fertilizante NK incrementou a dinâmica do N e K em solos arenosos de cerrado sob *E. camaldulensis*, principalmente no tratamento em que o fertilizante foi aplicado em linha. Os fluxos dos nutrientes no sistema são mais intensos nos primeiros dias após a aplicação do fertilizante, com rápida redução de seus teores na camada de 0-40 cm no solo. Por isso, o parcelamento da adubação e o uso de técnicas de manejo que proporcionem maior absorção e acumulação de nutrientes na biomassa florestal parecem ser essenciais para manutenção da produtividade florestal.

APÊNDICE A

Quadro 1A - Resumo das análises de variância para o peso seco da folha, do galho, da casca, do lenho e total de *E. camaldulensis*, na idade de 13 meses, em função dos tratamentos

APÊNDICE

FV	GL	Quadro Médio				
		Folha	Galho	Casca	Lenho	Total
Bloco	5	0,013	0,069	0,042	0,033	1,598
Trat.	2	0,007	0,043	0,040	0,024	0,817
Tax AL+AT	1	0,101	0,091	0,072	0,059	1,004
AL vs AT	1	0,091	0,085	0,045	0,191	0,540
Resíduo	10	4,362	0,744	0,023	0,616	1,590
CV (%)		19,05	37,41	15,02	15,36	16,43

*** - Significativo em nível de 5 e 1%, pelo teste F, respectivamente

Quadro 2A - Resumo das análises de variância para o peso seco da folha, do galho, da casca, do lenho e total de *E. camaldulensis*, na idade de 37 meses, em função dos tratamentos

FV	GL	Quadrado Médio				
		Folha	Galho	Casca	Lenho	Total
Bloco	5	0,731	1,932*	7,102	23,606	56,587
Trat.	2	3,002*	3,873**	3,478	48,630	124,584
T vs AL+AT	1	3,163	2,350*	4,440	51,460	138,361
AL vs AT	1	4,055*	3,391**	2,510	45,808	90,608
Resíduo	10	0,552	1,245	2,245	16,820	39,158
CV (%)		25,50	18,57	27,51	12,38	13,76

*,** - Significativo em nível de 5 e 1%, pelo teste F, respectivamente.

APÊNDICE A

Quadro 1A - Resumo das análises de variância para o peso seco da folha, do galho, da casca, do lenho e total de *E. camaldulensis*, na idade de 13 meses, em função dos tratamentos

FV	GL	Quadrado Médio				
		Folha	Galho	Casca	Lenho	Total
Bloco	5	0,038	0,069	0,042	0,932	1,598
Trat.	2	0,097	0,048	0,040	0,424	0,817
T vs AL+AT	1	0,103	0,091	0,032	0,059	1,094
AL vs AT	1	0,091	0,005	0,048	0,791	0,540
Resíduo	10	0,362	0,244	0,033	0,616	3,579
CV (%)		19,05	25,45	15,62	15,36	16,62

*,** - Significativo em nível de 5 e 1%, pelo teste F, respectivamente.

Quadro 2A - Resumo das análises de variância para o peso seco da folha, do galho, da casca, do lenho e total de *E. camaldulensis*, na idade de 37 meses, em função dos tratamentos

FV	GL	Quadrado Médio				
		Folha	Galho	Casca	Lenho	Total
Bloco	5	0,721	1,927*	3,102	25,606	56,587
Trat.	2	3,609*	3,870**	3,475	48,630	124,584
T vs Al+At	1	3,163	2,350*	4,440	51,460	158,561
Al vs At	1	4,055*	5,391**	2,510	45,800	90,608
Resíduo	10	0,852	0,467	2,245	16,820	39,158
CV (%)		25,50	18,57	27,51	12,53	13,76

*,** - Significativo em nível de 5 e 1%, pelo teste F, respectivamente.

Quadro 3A - Resumo das análises de variância para o conteúdo de nitrogênio na folha, no galho, na casca, no lenho e total de *E. camaldulensis*, na idade de 13 meses, em função dos tratamentos

FV	GL	Quadrado Médio				
		Folha	Galho	Casca	Lenho	Total
Bloco	5	322,9	52,81	21,55**	12,76	603,9
Trat.	2	1046,0*	388,64*	9,46*	76,77*	2146,2
T vs AL+AT	1	1722,4*	279,05*	0,06	35,32	4145,4*
AL vs AT	1	369,7	498,23*	18,87*	118,23*	146,9
Resíduo	10	269,2	57,38	2,03	15,27	631,8
CV (%)		25,68	41,00	11,70	16,94	21,37

*,** - Significativo em nível de 5 e 1%, pelo teste F, respectivamente.

Quadro 4A - Resumo das análises de variância para o conteúdo de nitrogênio na folha, no galho, na casca, no lenho e total de *E. camaldulensis*, na idade de 37 meses, em função dos tratamentos

FV	GL	Quadrado Médio				
		Folha	Galho	Casca	Lenho	Total
Bloco	5	558,1	116,04	118,12	1572,0	5189,6
Trat.	2	6582,8*	133,63	210,89	370,9	11780,2
T vs AL+AT	1	1670,9	1,53	419,65	735,7	8050,1
AL vs AT	1	11497,7**	265,73	2,12	6,2	15510,2
Resíduo	10	972,9	64,96	110,38	1268,9	3866,6
CV (%)		41,23	30,06	21,66	40,56	26,04

*,** - Significativo em nível de 5 e 1%, pelo teste F, respectivamente.

Quadro 5A - Resumo das análises de variância para o conteúdo de potássio na folha, no galho, na casca, no lenho e total de *E. camaldulensis*, na idade de 13 meses, em função dos tratamentos

FV	GL	Quadrado Médio				
		Folha	Galho	Casca	Lenho	Total
Bloco	5	31,40	12,74	1,48	3,22	87,50
Trat.	2	78,26	12,86	21,08**	10,66*	407,60
T vs AL+AT	1	0,23	0,68	0,02	1,47	52,59
AL vs AT	1	156,30*	25,05	42,13**	19,45*	809,62
Resíduo	10	26,39	35,60	1,39	2,01	149,65
CV (%)		15,91	33,39	12,43	13,56	17,45

*,** - Significativo em nível de 5 e 1%, pelo teste F, respectivamente.

Quadro 6A - Resumo das análises de variância para o conteúdo de potássio na folha, no galho, na casca, no lenho e total de *E. camaldulensis*, na idade de 37 meses, em função dos tratamentos

FV	GL	Quadrado Médio				
		Folha	Galho	Casca	Lenho	Total
Bloco	5	112,03	206,39	154,89	64,66	1013,21
Trat.	2	400,96	196,76	575,09	194,29*	3536,16
T vs AL+AT	1	436,26	278,16	722,85	314,98**	6756,57*
AL vs AT	1	365,65	115,36	427,34	73,60	315,75
Resíduo	10	101,86	93,39	162,22	30,85	790,31
CV (%)		28,63	27,12	32,20	12,55	18,18

*,** - Significativo em nível de 5 e 1%, pelo teste F, respectivamente.

Quadro 7A - Resumo das análises de variância para a concentração de nitrogênio na folha, no galho, na casca, no lenho e total de *E. camaldulensis*, na idade de 13 meses, em função dos tratamentos

FV	GL	Quadrado Médio				
		Folha	Galho	Casca	Lenho	Total
Bloco	5	0,261	0,054	0,143*	0,010	0,032
Trat.	2	0,980*	0,760*	0,021	0,014	0,112
T vs AL+AT	1	0,028	1,519*	0,041	0,006	0,22*
AL vs AT	1	1,933**	0,001	0,002	0,024	0,003
Resíduo	10	0,161	0,029	0,021	0,0131	0,030
CV (%)		19,78	18,40	14,00	24,86	16,72

*,** - Significativo em nível de 5 e 1%, pelo teste F, respectivamente.

Quadro 8A - Resumo das análises de variância para a concentração de nitrogênio na folha, no galho, na casca, no lenho e total de *E. camaldulensis*, na idade de 37 meses, em função dos tratamentos

FV	GL	Quadrado Médio				
		Folha	Galho	Casca	Lenho	Total
Bloco	5	0,272	0,028	0,0144	0,011	0,015
Trat.	2	1,244*	0,037	0,0185	0,002	0,012
T vs AL+AT	1	0,004	0,068	0,004	0,001	0,003
AL vs AT	1	2,483**	0,005	0,032	0,003	0,020
Resíduo	10	0,227	0,019	0,025	0,015	0,019
CV (%)		23,53	18,85	17,56	45,65	26,25

*,** - Significativo em nível de 5 e 1%, pelo teste F, respectivamente.

Quadro 9A - Resumo das análises de variância para a concentração de potássio na folha, no galho, na casca, no lenho e total de *E. camaldulensis*, na idade de 13 meses, em função dos tratamentos

FV	GL	Quadrado Médio				
		Folha	Galho	Casca	Lenho	Total
Bloco	5	0,0219	0,010	0,007	0,0006	0,0029
Trat.	2	0,1335**	0,063	0,087**	0,0021*	0,026**
T vs AL+AT	1	0,2420**	0,126*	0,166**	0,004*	0,050**
AL vs AT	1	0,025	0,000	0,008	0,00001	0,0020
Resíduo	10	0,0102	0,022	0,006	0,0003	0,0019
CV (%)		9,81	16,10	9,64	8,64	7,17

*,** - Significativo em nível de 5 e 1%, pelo teste F, respectivamente.

Quadro10A - Resumo das análises de variância para a concentração de potássio na folha, no galho, na casca, no lenho e total de *E. camaldulensis*, na idade de 37 meses, em função dos tratamentos

FV	GL	Quadrado Médio				
		Folha	Galho	Casca	Lenho	Total
Bloco	5	0,005	0,005	0,006	0,0001	0,0006
Trat.	2	0,005	0,052*	0,039*	0,0003	0,0045*
T vs AL+AT	1	0,008	0,006	0,051*	0,0006	0,008**
AL vs AT	1	0,001	0,098*	0,028	0,00001	0,001
Resíduo	10	0,022	0,012	0,009	0,0001	0,001
CV (%)		15,41	11,455	13,38	9,44	9,35

*,** - Significativo em nível de 5 e 1%, pelo teste F, respectivamente.

Quadro 1B - Resumo das análises de variância para N total, N inorgânico e K disponível para o povoamento de *E. camaldulensis*, na idade de 13 meses, na profundidade de 0-5 cm, em função dos tratamentos

FV	GL	Quadrado Médio		
		N Total	N Inorgânico	K Disponível
BL	5	0,0004**	371,7062	94,360
ADUB	1	0,0000	8210,298**	9002,208**
Err (a)	10	0,0001	327,6357	102,463
COL	1	0,0005**	8819,774**	11397,626**
COL * BL	25	0,0001	296,9405	59,3503
COL * ADUB	10	0,0006**	8547,203**	6170,316**
Err (b)	50	0,0002	337,9022	57,7837
TOTAL	100			
CV (%)		23,60	61,45	29,1

*,** - Significativo em nível de 5 e 1%, pelo teste F, respectivamente.

Quadro 3B - Resumo das análises de variância para N Total, N inorgânico e K disponível para o povoamento de *E. camaldulensis*, na idade de 13 meses, na profundidade de 5-10 cm, em função dos tratamentos

FV	GL	Quadrado Médio		
		N Total	N Inorgânico	K Disponível
BL	5	0,0002	164,9198	114,0662**
ADUB.	2	0,0001	2625,5040**	1764,3900**
Erro (a)	10	0,0002	94,5293	63,6574
COL	5	0,0002	73,3910**	5093,4180**
COL*BL	25	0,0002	98,4137	43,8412
COL*ADUB.	10	0,0003**	2042,4140**	3429,6470**
Erro (b)	50	0,0002	97,6298	48,9436
TOTAL	107			

APÊNDICE B

Quadro 1B - Resumo das análises de variância para N total, N inorgânico e K disponível para o povoamento de *E. camaldulensis*, na idade de 13 meses, na profundidade de 0-5 cm, em função dos tratamentos

FV	GL	Quadrado Médio		
		N Total	N Inorgânico	K Disponível
BL	5	0,0004**	371,7062	94,560
ADUB.	2	0,0000	8219,298**	9002,208**
Erro (a)	10	0,0001	327,6357	102,465
COL	5	0,0005**	8819,774**	11897,620**
COL*BL	25	0,0001	296,9405	59,5503
COL*ADUB.	10	0,0006**	8547,205**	6170,816**
Erro (b)	50	0,0002	337,9622	57,7831
TOTAL	107			
CV (%)		25,00	61,45	29,1

*,** - Significativo em nível de 5 e 1%, pelo teste F, respectivamente.

Quadro 2B - Resumo das análises de variância para N Total, N inorgânico e K disponível para o povoamento de *E. camaldulensis*, na idade de 13 meses, na profundidade de 5-10 cm, em função dos tratamentos

FV	GL	Quadrado Médio		
		N Total	N Inorgânico	K Disponível
BL	5	0,0002	164,9198	114,0662**
ADUB.	2	0,0001	2625,5040**	5964,8900**
Erro (a)	10	0,0002	94,5292	38,6574
COL.	5	0,0007**	4778,5910**	5093,4180**
COL.*BL	25	0,0002	98,8137	43,8412
COL.*ADUB.	10	0,0003**	2642,4140**	3428,6470**
Erro (b)	50	0,0002	97,6598	48,9436
TOTAL	107			
CV (%)		25,02	36,04	32,10

*,** - Significativo em nível de 5 e 1%, pelo teste F, respectivamente.

Quadro 3B - Resumo das análises de variância para N Total, N inorgânico e K disponível para o povoamento de *E. camaldulensis*, na idade de 13 meses, na profundidade de 10-20 cm, em função dos tratamentos

FV	GL	Quadrado Médio		
		N Total	N Inorgânico	K Disponível
BL	5	0,0000	59,3139	76,6250*
ADUB.	2	0,0001	596,0945**	5201,3250**
Erro (a)	10	0,0000	46,9758	34,7196
COL.	5	0,0002	2547,3710**	3211,3020**
COL.*BL	25	0,0001	51,7308	82,7624
COL.*ADUB.	10	0,0003*	752,3936**	2353,8890**
Erro (b)	50	0,0000	67,5817	74,3096
TOTAL	107			
CV (%)		20,93	28,16	44,30

*,** - Significativo em nível de 5 e 1%, pelo teste F, respectivamente.

Quadro 4B - Resumo das análises de variância para N Total, N inorgânico e K disponível para o povoamento de *E. camaldulensis*, na idade de 13 meses, na profundidade de 20-40 cm, em função dos tratamentos

FV	GL	Quadrado Médio		
		N Total	N Inorgânico	K Disponível
BL	5	0,0000	24,5035	19,2040**
ADUB.	2	0,0002**	74,7074**	493,3678**
Erro (a)	10	0,0000	22,0996	5,4538
COL.	5	0,0001**	2078,3080**	131,1337**
COL.*BL	25	0,0000	4,1271	10,2762
COL.*ADUB.	10	0,0000**	66,8021**	115,6701**
Erro (b)	50	0,0000	33,7433	11,4559
TOTAL	107			
CV (%)		21,11	28,16	30,6

*,** - Significativo em nível de 5 e 1%, pelo teste F, respectivamente.

Quadro 5B - Resumo das análises de variância para N Total, N inorgânico e K disponível para o povoamento de *E. camaldulensis*, na idade de 37 meses, na profundidade de 0-5 cm, em função dos tratamentos

FV	GL	Quadrado Médio		
		N Total	N Inorgânico	K Disponível
BL	5	0,0003	209,21	137,98**
ADUB.	2	0,0007	17317,07**	17362,94**
Erro (a)	10	0,0004	242,99	96,65
COL.	5	0,0014**	19891,19	11854,28
COL.*BL	25	0,0002	230,48	206,45
COL.*ADUB.	10	0,0004**	17031,13**	8458,13**
Erro (b)	50	0,0002	226,57	118,06
TOTAL	107			
CV (%)		22,30	45,66	36,5

*,** - Significativo em nível de 5 e 1%, pelo teste F, respectivamente.

Quadro 6B - Resumo das análises de variância para N Total, N inorgânico e K disponível para o povoamento de *E. camaldulensis*, na idade de 37 meses, na profundidade de 5-10 cm, em função dos tratamentos

FV	GL	Quadrado Médio		
		N Total	N Inorgânico	K Disponível
BL	5	0,0003**	89,0936	33,9147
ADUB.	2	0,0001**	5003,3510**	7308,7190**
Erro (a)	10	0,0001	102,8144	47,5062
COL.	5	0,0003**	6995,3310**	3308,1260**
COL.*BL	25	0,0000	150,8857	37,8383
COL.*ADUB.	10	0,0005	4303,6330**	2401,7440**
Erro (b)	50	0,0001**	138,5644	34,3107
TOTAL	107			
CV (%)		19,72	43,73	26,20

*,** - Significativo em nível de 5 e 1%, pelo teste F, respectivamente.

Quadro 7B - Resumo das análises de variância para N Total, N inorgânico e K disponível para o povoamento de *E. camaldulensis*, na idade de 37 meses, na profundidade de 10-20 cm, em função dos tratamentos

FV	GL	Quadrado Médio		
		N Total	N Inorgânico	K Disponível
BL	5	0,0000	59,9071**	32,8608
ADUB.	2	0,0004**	687,0098**	3969,2980**
Erro (a)	10	0,0000	24,6345	19,8572
COL.	5	0,0002**	3087,2540**	1608,7220**
COL.*BL	25	0,0000	39,4324	82,4934
COL.*ADUB.	10	0,0001**	630,1539**	1092,4910**
Erro (b)	50	0,0001	41,6563	80,9503
TOTAL	107			
CV (%)		22,02	30,06	52,2

*,** - Significativo em nível de 5 e 1%, pelo teste F, respectivamente.

Quadro 8B - Resumo das análises de variância para N Total, N inorgânico e K disponível para o povoamento de *E. camaldulensis*, na idade de 37 meses, na profundidade de 20-40 cm, em função dos tratamentos

FV	GL	Quadrado Médio		
		N Total	N Inorgânico	K Disponível
BL	5	0,0000	8,3139	12,2752
ADUB.	2	0,0000	97,1178**	1086,4920**
Erro (a)	10	0,0000	14,0434	10,2095
COL.	5	0,0002**	2449,2530**	68,6267*
COL.*BL	25	0,0000	6,6770	16,6036
COL.*ADUB.	10	0,0000**	42,8935**	22,1104
Erro (b)	50	0,0000	10,2209	20,1001
TOTAL	107			
CV (%)		18,47	16,65	36,00

*,** - Significativo em nível de 5 e 1%, pelo teste F, respectivamente.z

Método de determinação de N-NH_4^+

(Reação de Nessler), adaptado de JACKSON (1958).

Preparo do reagente de Nessler e do Tartarato de Sódio 10%

Dissolver, em bécher 45,6 g de iodeto de mercúrio II e 35 g de iodeto de Potássio em aproximadamente 100 mL de H_2O destilada, adicionar 112 g de hidróxido de potássio, completar volume para cerca de 800 ml, agitar por 2 minutos. Transferir solução para balão de 1.000 mL, esfriar em repouso, completar volume e agitar. Transferir solução para bécher de 2.000 mL, deixar em repouso por três dias, em ausência de luz, retirar e armazenar sobrenadante em recipiente escuro, em ausência de luz.

Dissolver 10 g de tartarato de sódio em cerca de 70 mL de H_2O destilada, transferir para balão de 100 mL, completar o volume e agitar.

Curva-padrão de N-NH_4^+

mg.dm ⁻³ de N-NH_4^+	mL de solução 50 mg.dm ⁻³ de N-NH_4	mL de H_2O destilada	mL do branco	mL da solução de tartarato de sódio 10%	mL do reagente de Nessler
0,00	0,00	16,00	4,00	2,50	2,50
0,50	0,25	15,75	4,00	2,50	2,50
1,00	0,50	15,50	4,00	2,50	2,50
2,00	1,00	15,00	4,00	2,50	2,50
3,00	1,50	14,50	4,00	2,50	2,50
4,00	2,00	14,00	4,00	2,50	2,50
5,00	2,50	13,50	4,00	2,50	2,50
6,00	3,00	13,00	4,00	2,50	2,50
7,00	3,50	12,50	4,00	2,50	2,50
8,00	4,00	12,00	4,00	2,50	2,50

Leitura das amostras: Em 4 mL do extrato $\text{KCl } 1 \text{ mol.L}^{-1}$, adicionar 16 mL de H_2O destilada, 2,5 mL do tartarato de sódio 10% e 2,5 mL do reagente de Nessler. Agitar, deixar em repouso por 20 minutos e efetuar leitura em espectrofotômetro, a 415 nm.

Método de determinação de N-NO_3^-

(Reação de Griss-Liosvay), adaptado de ALVES (1992).

Reagentes:

A - Sulfato de hidrazina	14 g/2 L H_2O destilada.
B - Hidróxido de sódio	24 g/2 L H_2O destilada
C - Sulfato de cobre	0,1 g/2 L H_2O destilada
D - Reagente de coloração:	
Sulfanilamida	10 g/0,5 L H_2O destilada
n-(1-naftil) etilenodiamoniodicloreto	0,5 g/0,5 L H_2O destilada
Ácido ortofósforico 80%	47,1 ml/0,5 L H_2O destilada
E - Cloreto de potássio	74,56 g/L
F - Solução-padrão estoque KNO_3	50 mg/ L em $\text{KCl } 1 \text{ mol.L}^{-1}$

Soluções com 0; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; e 5,0 mg.L⁻¹ de N-NO₃⁻ serão preparadas a partir da solução estoque F. Tomar 0; 0,5; 1; 2; 3; 4; e 5 ml da solução F, colocando-os em balões de 100 ml e completar o volume com KCl 1 mol.L⁻¹ (solução E).

Curva-padrão de N-NO₃⁻

mg.dm ⁻³ de N-NO ₃ ⁻	2 mL de solução mg.L ⁻¹ de N- NO ₃ ⁻	mL de H ₂ O destilada	mL da solução A	mL da solução B	mL da solução C	mL da solução D
0,00	0,00	10	1,00	1,00	0,50	0,50
0,10	0,50	10	1,00	1,00	0,50	0,50
0,20	1,00	10	1,00	1,00	0,50	0,50
0,40	2,00	10	1,00	1,00	0,50	0,50
0,60	3,00	10	1,00	1,00	0,50	0,50
0,80	4,00	10	1,00	1,00	0,50	0,50
1,00	5,00	10	1,00	1,00	0,50	0,50

Leitura das amostras: Em 2 mL do extrato KCl 1 mol.L⁻¹, adicionar os reagentes acima descritos, homogeneizar e efetuar leitura em espectrofotômetro, a 532 nm.