

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**ADUBAÇÃO NITROGENADA, FOSFATADA E POTÁSSICA NA CULTURA DO  
EUCALIPTO (CLONE I144 - *E. urograndis*)**

**RODOLFO DE NIRO GAZOLA**

Ilha Solteira

2014

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**ADUBAÇÃO NITROGENADA, FOSFATADA E POTÁSSICA NA CULTURA DO  
EUCALIPTO (CLONE I144 - E. urograndis)**

**RODOLFO DE NIRO GAZOLA**

Engenheiro Agrônomo

**Orientador:** Prof. Dr. Salatiér Buzetti

**Co-orientadores:** Prof. Dr. Mário Luiz Teixeira de Moraes

Prof. Dr. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia.  
Especialidade: Sistemas de Produção

Ilha Solteira

2014

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

Gazola, Rodolfo de Niro.

G291a Adubação nitrogenada, fosfatada e potássica na cultura do eucalipto (clone I144 - *E. urograndis*) / Rodolfo de Niro Gazola. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2014  
92 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade: Sistemas de Produção, 2014

Orientador: Salatiér Buzetti

Co-orientador: Mário Luiz Teixeira de Moraes

Co-orientador: Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho

Inclui bibliografia

1. *Eucalyptus*. 2. Fertilização. 3. Macronutrientes.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO:** Adubação nitrogenada, fosfatada e potássica na cultura do eucalipto (Clone I144 - E. urograndis)

**AUTOR:** RODOLFO DE NIRO GAZOLA


**ORIENTADOR:** Prof. Dr. SALATIER BUZETTI

**CO-ORIENTADOR:** Prof. Dr. MARCELO CARVALHO MINHOTO TEIXEIRA FILHO

**CO-ORIENTADOR:** Prof. Dr. MARIO LUIZ TEIXEIRA DE MORAES

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA ,  
Área: SISTEMAS DE PRODUÇÃO, pela Comissão Examinadora:

  
Prof. Dr. SALATIER BUZETTI  
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

  
Prof. Dr. MARCELO ANDREOTTI  
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

  
Prof. Dr. PAULO HENRIQUE MULLER DA SILVA  
Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais

Data da realização: 26 de fevereiro de 2014.

## **DEDICO**

A Deus, por estar sempre ao meu lado.

À minha namorada, Raíssa, por todo amor, carinho e companheirismo.

Ao meu orientador, prof. Dr. Salatiér Buzetti, por toda a dedicação, atenção e amizade concedidas, orientando-me também na vida. Quem me ensinou que não há barreiras para o esforço; que todo esforço será recompensado e que tudo tem solução.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida.

À Raíssa e ao Boni, meus amores.

Ao meu orientador, Prof. Salatiér Buzetti, pela oportunidade de poder ter sido seu orientado.

Aos meus co-orientadores: Prof. Dr. Mário L. T. Moraes pela atenção e colaboração em todos os momentos em que precisei; e Prof. Dr. Marcelo C. M. Teixeira Filho, grande amigo, cuja contribuição foi imprescindível para a realização desse trabalho; meu espelho de garra, determinação, competência, humildade e entendimento para com o próximo.

Aos meus pais, Maria Angélica e Nirovaldo, pelo carinho e preocupação em todos os momentos. A você pai, obrigado por ser meu esteio nos momentos mais difíceis.

Aos meus irmãos, Rafael e Ana Cláudia, meus primeiros amigos, por estarem sempre ao meu lado.

Aos meus avós Lucília e Antônio (*in memoriam*), sei que estão comigo. E, Maria Aurea e Francisco por toda atenção e amor dedicados.

Aos avós da Raíssa, Irineu (*in memoriam*), meu grande amigo e a Therezinha pelo amor e carinho.

Aos meus tios, tias, primos e primas, parceiros de toda vida. À tia Zilda, agradeço com muito carinho, por todas as vezes que nos recebeu em sua casa com tanto amor e dedicação.

À Rose, ao Marcondes e Raíza, amigos tão especiais, sempre tão presentes.

Ao Celestrino, amigo de sempre, coração e bondade únicos.

Ao Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais - IPEF, pelo apoio e ao Paulo Henrique Müller da Silva por todas as sugestões e por sempre estar pronto para ajudar.

À Cargill Agrícola S/A, pela concessão da área experimental.

Aos meus amigos: Gilmar, Ligia, Ana, Tamíris, Marcelo, Cássia, Leandro, Vinicius e Guilherme.

À Elisângela, pela amizade, ensinamentos, atenção e por estar pronta para ajudar sempre que preciso.

Aos técnicos do Laboratório de Fertilidade do Solo, Carlinhos e João e do Laboratório de Nutrição de Plantas, Marcelo, pelo auxílio nas análises.

A todos os professores pela dedicação e contribuição. Em especial ao Prof. Marcelo Andreotti, quem com suas aulas e dicas contribuiu para o crescimento acadêmico; Prof. Malcolm, com quem pude trabalhar na graduação, Prof. Ricardo e Maranhão pela amizade e atenção e Prof<sup>a</sup>. Regina, muito importante em minha vida, por todo carinho e preocupação que sempre teve comigo.

À banca do exame geral de qualificação, Prof<sup>a</sup>. Marlene e Prof. Rafael, pelas sugestões e contribuições.

Aos funcionários da Fazenda de Ensino e Pesquisa, em especial ao Alonso.

Ao João e José, por nos auxiliar sempre que preciso nas avaliações.

Aos funcionários da Seção de Pós-graduação, por toda atenção.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior - CAPES, pela bolsa de estudo no primeiro ano do Mestrado.

À Universidade Estadual Paulista, Campus de Ilha Solteira, pelas oportunidades.

E a todos que contribuíram para a realização desse trabalho. Muito obrigado!

“Ama sempre.  
E quando estiveres  
A ponto de descer  
Do poder do amor,  
Lembra-te do Cristo”  
(Chico Xavier)



## RESUMO

No Brasil, grande parte do plantio da cultura do eucalipto encontra-se em área de solo de baixa fertilidade, com pouca disponibilidade de fósforo (P) e potássio (K), e baixo teor de matéria orgânica (M.O.), o que implica em carência do fornecimento de nutrientes à planta, refletindo na redução da produtividade. Neste sentido, objetivou-se avaliar a fertilização nitrogenada, fosfatada e potássica no crescimento das plantas de eucalipto visando qualidade nutricional e alta produtividade. O experimento foi conduzido na Fazenda Renascença, fundo agrícola administrado pela Cargill Agrícola S/A, localizado no município de Três Lagoas/MS. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com dez tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram constituídos de doses de nitrogênio (N) (0, 70, 105 e 140 kg ha<sup>-1</sup>), doses de P (0, 40, 70 e 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e doses de K (0, 90, 135 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O). As doses de N e K foram aplicadas no plantio e em cobertura, com três parcelamentos (aos 2, 9 e 14 meses após o plantio), e as de P somente no plantio. Foram avaliados: o diâmetro à altura do peito (DAP), altura de plantas, volume de madeira com casca, análise foliar dos nutrientes, a fertilidade do solo e as relações dos nutrientes nas folhas e no solo. O DAP e o volume foram influenciados positivamente pela fertilização nitrogenada, já a fosfatada e a potássica aumentaram o crescimento do eucalipto em DAP, altura e volume. As concentrações dos nutrientes estiveram adequadas mesmo com a ausência da aplicação de N, P e K. Com o aumento das doses de K houve incremento das concentrações foliares de K e diminuição das de cálcio (Ca) e magnésio (Mg).

**Palavras-chave:** *Eucalyptus*. Fertilização. Macronutrientes.

## ABSTRACT

In Brazil, much of the *Eucalyptus* planting is in soils area of low fertility, phosphorus (P) and potassium (K) availability and organic matter (O.M.), which implies in low nutrients supply to the plant, reflecting the reduced productivity. In this context, it was aimed to evaluate nitrogen (N), P and K fertilizations on plant growth *Eucalyptus* aiming nutritional quality and high productivity. Experiment was conducted at Renascença Farm, agricultural fund managed by Cargill Agricola S/A located in Três Lagoas/MS. Experimental design was a randomized block with ten treatments and five replications. Treatments consisted of N rates (0, 70, 105 and 140 kg ha<sup>-1</sup>), P rates (0, 40, 70 and 100 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) and K rates (0, 90, 135 and 180 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O). Nitrogen and K were applied at planting and top-dressing and P rates only at planting. It was evaluated: diameter at breast height (DBH), plant height, volume of wood with bark and leaf analysis of macronutrients concentrations. The DBH and volume were influenced positively by N fertilization, P and K, since the eucalyptus growth in DAP, height and volume increased with P and K fertilization. The macronutrients concentrations were appropriate even in the absence of N, P and K application. Increasing rates of K was increased foliar concentrations of K and decreased calcium (Ca) and magnesium (Mg).

**Keywords:** *Eucalyptus*. Fertilization. Macronutrients.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Precipitação pluvial mensal (mm) registrada na Estação Meteorológica Automática de Três Lagoas/MS, 2012/14.	27
Figura 2 -	Diâmetro à altura do peito (DAP) de plantas de eucalipto em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2013/14.	34
Figura 3 -	Volume total de madeira com casca de plantas de eucalipto (A) e produção relativa (B), em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2013/14.	35
Figura 4 -	Teor de P no solo na entre linha das plantas, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm (A), pH e acidez potencial na entre linha de 0-20 cm (B), em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2014.	38
Figura 5 -	Concentrações de Ca nas folhas do eucalipto aos 18 meses de idade, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2013.	42
Figura 6 -	Relações N/Ca nas folhas do eucalipto aos 18 meses de idade (A) e N/K e N/S aos 24 meses (B), em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2013/14.	45
Figura 7 -	Diâmetro à altura do peito (DAP) (A) e altura média de plantas de eucalipto (B), em função de doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . Três Lagoas/MS, 2013/14.	46
Figura 8 -	Volume total de madeira com casca de plantas de eucalipto aos 12, 15, 18, 21 e 24 meses de idade (A) e produção relativa (B), em função de doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . Três Lagoas/MS, 2013/14.	47
Figura 9 -	Teores de P no solo na linha de plantio do eucalipto, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, em função de doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . Três Lagoas/MS, 2014.	50
Figura 10 -	Teores de Mn na linha de plantio do eucalipto, na profundidade de 20-40 cm, em função de doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . Três Lagoas/MS, 2014.	52
Figura 11 -	Concentrações de N e P aos 24 meses de idade do eucalipto, em função de doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . Três Lagoas/MS, 2013/14.	54
Figura 12 -	Relações de P/Ca e P/Mg nas folhas do eucalipto (A) aos 24 e 12 meses de idade respectivamente, P/S aos 18 meses (B), em função de doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . Três Lagoas/MS, 2013/14.	56
Figura 13 -	Diâmetro à altura do peito (DAP) (A) e altura média de plantas (B) do eucalipto, em função de doses de K <sub>2</sub> O. Três Lagoas/MS, 2013/14.	58

Figura 14 -	Volume total de madeira com casca de plantas de eucalipto (A) e produção relativa do eucalipto (B), em função de doses de $K_2O$ . Três Lagoas/MS, 2013/14.	59
Figura 15 -	Teores de K na linha (A), entre linha (B) de plantio do eucalipto, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm e produção relativa associada aos teores de K na entre linha (C) em função de doses de $K_2O$ . Três Lagoas/MS, 2014.	62
Figura 16 -	Teores de P no solo (A) e pH (B) na entre linha de plantio do eucalipto, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm em função de doses de $K_2O$ . Três Lagoas/MS, 2014.	64
Figura 17 -	Teor de Mn no solo na linha (A) na profundidade de 0-20 cm e nas entre linhas de plantio do eucalipto na profundidade de 20-40 cm (B), em função de doses de $K_2O$ . Três Lagoas/MS, 2014.	66
Figura 18 -	Relações de Ca/K (A e B), Mg/K (C e D) e (Ca+Mg)/K (E e F) no solo, avaliados na linha e nas entre linhas de plantio do eucalipto, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, em função de doses de $K_2O$ . Três Lagoas/MS, 2014.	68
Figura 19 -	Relações de Cu/K (A), Mn/K (B) e Fe/K (C) no solo, avaliadas na linha e nas entre linhas de plantio do eucalipto, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, em função de doses de $K_2O$ . Três Lagoas/MS, 2014.	71
Figura 20 -	Concentrações de N, P, K, Ca e Mg (A, B, C, D e E) aos 12, 18 e 24 meses de idade do eucalipto, em função de doses de $K_2O$ . Três Lagoas/MS, 2013/14.	75
Figura 21 -	Relações dos macronutrientes aos 12, 18 e 24 meses de idade do eucalipto, em função de doses de $K_2O$ . Três Lagoas/MS, 2013/14.	78
Figura 22 -	Relações dos macronutrientes e produção relativa aos 18 e 24 meses de idade do eucalipto (A e B, respectivamente), em função de doses de $K_2O$ . Três Lagoas/MS, 2013/14.	79
Figura 23 -	Relações dos micronutrientes com K aos 12, 18 e 24 meses de idade do eucalipto, em função de doses de $K_2O$ . Três Lagoas/MS, 2013/14.	81

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Análise granulométrica do solo da área experimental. Três Lagoas/MS, 2011.	26
Tabela 2 -	Análise química inicial do solo. Três Lagoas/MS, 2011.	27
Tabela 3 -	Quantidade parcial e total de nutrientes aplicados nos tratamentos. Três Lagoas/MS, 2012/13.	30
Tabela 4 -	Diâmetro à altura do peito (DAP) e altura média de plantas de eucalipto, aos 12, 15, 18, 21 e 24 meses de idade, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2013/14.	33
Tabela 5 -	Volume total de madeira com casca (Vt) de plantas de eucalipto, aos 12, 15, 18, 21 e 24 meses de idade, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2013/14.	35
Tabela 6 -	Teores de macronutrientes na linha e na entre linha das plantas, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2014.	37
Tabela 7 -	Teores de micronutrientes na linha e entre linha das plantas, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2014.	40
Tabela 8 -	Concentrações de macronutrientes aos 12, 18 e 24 meses de idade do eucalipto, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2013/14.	41
Tabela 9 -	Concentrações de micronutrientes aos 12, 18 e 24 meses de idade do eucalipto, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2013/14.	42
Tabela 10 -	Relações dos nutrientes nas folhas do eucalipto aos 12, 18 e 24 meses de idade, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2013/14.	43
Tabela 11 -	Diâmetro à altura do peito (DAP) e altura média de plantas de eucalipto, aos 12, 15, 18, 21 e 24 meses de idade, em função de doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . Três Lagoas/MS, 2013/14.	46
Tabela 12 -	Volume total de madeira com casca (Vt) de plantas de eucalipto, aos 12, 15, 18, 21 e 24 meses de idade, em função de doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . Três Lagoas/MS, 2013/14.	47
Tabela 13 -	Teores de macronutrientes na linha e entre linha das plantas, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, em função de doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . Três Lagoas/MS, 2014.	49

Tabela 14 -	Teores de micronutrientes na linha e na entre linha das plantas de eucalipto, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, em função de doses de $P_2O_5$ . Três Lagoas/MS, 2014.	51
Tabela 15 -	Concentrações de macronutrientes aos 12, 18 e 24 meses de idade do eucalipto, em função de doses de $P_2O_5$ . Três Lagoas/MS, 2013/14.	53
Tabela 16 -	Concentrações de micronutrientes aos 12, 18 e 24 meses de idade do eucalipto, em função de doses de $P_2O_5$ . Três Lagoas/MS, 2013/14.	54
Tabela 17 -	Relações dos nutrientes nas folhas do eucalipto aos 12, 18 e 24 meses de idade, em função de doses de $P_2O_5$ . Três Lagoas/MS, 2013/14.	56
Tabela 18 -	Diâmetro à altura do peito (DAP) e altura média de plantas de eucalipto, aos 12, 15, 18, 21 e 24 meses de idade, em função de doses de $K_2O$ . Três Lagoas/MS, 2013/14.	57
Tabela 19 -	Volume total de madeira com casca (Vt) de plantas de eucalipto, aos 12, 15, 18, 21 e 24 meses de idade, em função de doses de $K_2O$ . Três Lagoas/MS, 2013/14.	59
Tabela 20 -	Teores de macronutrientes na linha e na entre linha das plantas de eucalipto, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, em função de doses de $K_2O$ . Três Lagoas/MS, 2014.	61
Tabela 21 -	Teores de micronutrientes na linha e na entre linha das plantas de eucalipto, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, em função de doses de $K_2O$ . Três Lagoas/MS, 2014.	65
Tabela 22 -	Relações de Ca/K, Mg/K e (Ca+Mg)/K no solo, avaliados nas linhas e entre linhas de plantio do eucalipto, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, em função de doses de $K_2O$ . Três Lagoas/MS, 2014.	67
Tabela 23 -	Relações de Cu/K, Zn/K, Mn/K e Fe/K no solo, avaliadas na linha e nas entre linhas de plantio do eucalipto, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, em função de doses de $K_2O$ . Três Lagoas/MS, 2014.	70
Tabela 24 -	Concentrações dos macronutrientes aos 12, 18 e 24 meses de idade do eucalipto, em função de doses de $K_2O$ . Três Lagoas/MS, 2013/14.	72
Tabela 25 -	Concentrações dos micronutrientes aos 12, 18 e 24 meses de idade do eucalipto, em função de doses de $K_2O$ . Três Lagoas/MS, 2013/14.	75
Tabela 26 -	Relações dos macronutrientes aos 12, 18 e 24 meses de idade do eucalipto, em função de doses de $K_2O$ . Três Lagoas/MS, 2013/14.	76
Tabela 27 -	Relações dos micronutrientes aos 12, 18 e 24 meses de idade do eucalipto, em função de doses de $K_2O$ . Três Lagoas/MS, 2013/14.	80

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>16</b>
2.1 CULTURA DO EUCALIPTO	16
2.2 CLONE I144	18
2.3 ADUBAÇÃO NITROGENADA	19
2.4 ADUBAÇÃO FOSFATADA	22
2.5 ADUBAÇÃO POTÁSSICA	24
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>26</b>
3.1 LOCAL E CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS	26
3.2 DESCRIÇÕES DAS PRÁTICAS SILVICULTURAIS	27
<b>3.2.1 Implantação (2011/12)</b>	<b>27</b>
<b>3.2.2 Manutenção (2012)</b>	<b>28</b>
<b>3.2.3 Manutenção (2013)</b>	<b>28</b>
3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS	29
3.4 AVALIAÇÕES	30
<b>3.4.1 Avaliação do crescimento: inventários e biometrias</b>	<b>30</b>
<b>3.4.2 Concentrações dos nutrientes nas folhas</b>	<b>31</b>
<b>3.4.3 Relação dos nutrientes nas folhas</b>	<b>31</b>
<i>3.4.3.1 Estudo de doses de N</i>	<i>31</i>
<i>3.4.3.2 Estudo de doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i>	<i>31</i>
<i>3.4.3.3 Estudo de doses de K<sub>2</sub>O</i>	<i>32</i>
<b>3.4.4 Avaliação da fertilidade do solo</b>	<b>32</b>
<b>3.4.5 Relação dos nutrientes no solo</b>	<b>32</b>

<i>3.4.5.1 Estudo de doses de K<sub>2</sub>O</i>	32
3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA	32
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>33</b>
4.1 ADUBAÇÃO NITROGENADA	33
<b>4.1.1 Avaliação do crescimento: inventários e biometrias</b>	<b>33</b>
<b>4.1.2 Avaliação da fertilidade do solo</b>	<b>36</b>
<b>4.1.3 Concentrações dos nutrientes nas folhas</b>	<b>40</b>
<b>4.1.4 Relação dos nutrientes nas folhas</b>	<b>43</b>
4.2 ADUBAÇÃO FOSFATADA	45
<b>4.2.1 Avaliação do crescimento: inventários e biometrias</b>	<b>45</b>
<b>4.2.2 Avaliação da fertilidade do solo</b>	<b>48</b>
<b>4.2.3 Concentrações dos nutrientes nas folhas</b>	<b>52</b>
<b>4.2.4 Relação dos nutrientes nas folhas</b>	<b>55</b>
4.3 ADUBAÇÃO POTÁSSICA	57
<b>4.3.1 Avaliação do crescimento: inventários e biometrias</b>	<b>57</b>
<b>4.3.2 Avaliação da fertilidade do solo</b>	<b>60</b>
<b>4.3.3 Relação dos nutrientes no solo</b>	<b>66</b>
<b>4.3.4 Concentrações dos nutrientes nas folhas</b>	<b>71</b>
<b>4.3.5 Relação dos nutrientes nas folhas</b>	<b>75</b>
<b>5 CONCLUSÕES</b>	<b>82</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>83</b>



## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento das áreas com plantios de eucalipto, no Brasil, é notório, visto que há investimentos de empresas nacionais do segmento de papel e celulose e a inserção de novas áreas de cultivo. Apesar disso, no País, grande parte do plantio da cultura encontra-se em área de solo de baixa fertilidade, com baixa disponibilidade de fósforo (P), potássio (K) e de nitrogênio (N) (baixo teor de matéria orgânica - M.O.), o que implica em baixo fornecimento de nutrientes à planta, refletindo na redução da produtividade. Tal condição é típica dos solos de Cerrado, onde estão concentradas as maiores áreas de plantio dessa cultura.

Considerando que as espécies de eucaliptos, e principalmente os clones, são exigentes em nutrientes, a adubação torna-se, diante deste cenário, essencial.

Portanto há necessidade de avaliação da influência da adubação nitrogenada em plantios de eucalipto, pois os resultados de alguns estudos tem sido contraditórios, enquanto que a aplicação de P e K, cujos teores em solos do Cerrado são geralmente baixos, limita a produção, de maneira significativa.

O estudo da calibração de adubação NPK serve como base para recomendações adequadas de fertilização, o que para a cultura do eucalipto é de grande relevância frente à carência de recomendações mais atuais, posto que as quantidades recomendadas estão bem aquém das utilizadas atualmente pelas empresas e pela mudança clonal nos plantios mais recentes.

Recomendações de adubações nas doses corretas e a escolha do material genético adequado garantem economia por parte das empresas com maior garantia de produtividade adequada.

Neste contexto, objetivou-se, com este trabalho, avaliar a calibração de adubação de NPK, utilizando doses de N (0, 70, 105 e 140 kg ha<sup>-1</sup>), de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0, 40, 70 e 100 kg ha<sup>-1</sup>) e de K<sub>2</sub>O (0, 90, 135 e 180 kg ha<sup>-1</sup>), considerando a importância desses nutrientes na cultura do eucalipto e a suas limitações no solo de Cerrado.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CULTURA DO EUCALIPTO

O gênero *Eucalyptus*, originário da Austrália e pertencente à família Myrtaceae, possui mais de 600 espécies adaptadas às mais diversas condições de clima e solo, sendo amplamente plantado no Brasil devido ao seu rápido crescimento, produção de madeira de boa qualidade e com diversas finalidades e boa adaptação às condições edafoclimáticas (BERGER et al., 2002; SOCIEDADE BRASILEIRA SILVICULTURA - SBS, 2006; PREVEDELLO et al., 2013). A cultura apresenta baixos custos de produção (LIMA ; GARCIA, 2008), devido a sua maior capacidade de produção de madeira por unidade de área, dentro de ciclo relativamente curto (BERTI, 2010).

Em 2012, a área de plantios de *Eucalyptus* no Brasil totalizou 5,1 milhões de hectares (ha), representando crescimento de 4,7% em relação ao indicador de 2011. Esse aumento foi alavancado pelos investimentos realizados por empresas nacionais do segmento de papel e celulose, visto que a maior expansão ocorreu nos estados do Tocantins (39,9%) e do Mato Grosso do Sul (19,0%) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF, 2013), sendo que neste último, as áreas concentram-se na parte leste, em função do baixo valor relativo das terras, abrangendo os municípios de Três Lagoas e Ribas do Rio Pardo (SANTOS, 2011). Dessa forma, o seu cultivo tem ocupado novas regiões do País, além das tradicionais, como a Sul e Sudeste (SANTANA et al., 2008a). Segundo Santana, Barros e Neves (2002), a produtividade da cultura no País variou de 15 a 107 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Sendo assim, os florestamentos têm expandido em regiões que apresentam solos de baixa fertilidade natural e déficit hídrico acentuado e frequente, como no bioma Cerrado (GAVA et al., 1997; OLIVEIRA NETO et al., 2010; ALVES, 2011). Esses solos caracterizam-se por apresentar elevado grau de intemperização, serem ricos em sesquióxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al), com acidez, permeabilidade e capacidade de fixação de P elevadas, além de baixa saturação por bases e baixo teor de matéria orgânica. Somado a essas características naturais, a ação antrópica nesses solos, depauperados por longos anos pela pecuária extensiva, modificou suas propriedades químicas, com redução acentuada dos teores

de nutrientes sem sua devida reposição, o que influencia negativamente na produtividade do povoamento recém florestado.

As espécies de eucaliptos são consideradas exigentes em nutrientes, sendo que o seu acúmulo no tronco e na parte aérea total segue a seguinte ordem: N > cálcio (Ca) > K > magnésio (Mg) > P (ANDRADE et al., 2006; FARIA et al., 2008). Benatti (2013) obteve em clones de eucalipto, aos seis anos e meio de idade, a seguinte sequência: Ca > N > K > Mg > P, no entanto, o autor ressaltou que a quantidade de Ca e N acumulada foi semelhante. Vieira et al. (2012) relataram a mesma sequência obtida pelo autor citado, com híbrido *Eucalyptus urograndis*, aos 18 meses de idade. Com base nessas constatações, verifica-se que, dentre os macronutrientes primários, o N e o K são os mais extraídos e o P o menos.

Em relação à adubação de NPK nos plantios de eucalipto, a adubação nitrogenada tem sido contraditória, sendo os ganhos de produtividade desses plantios em resposta à sua fertilização relativamente baixos ou ausentes. Já a fertilização fosfatada é de grande importância, pois o nutriente é um dos que mais limita a produção na região do Cerrado, em função de seus baixos teores na solução do solo, bem como de sua alta capacidade de adsorção e precipitação, uma vez que esses solos são extremamente ácidos e com altos teores de Al trocável (SOUSA; LOBATO; REIN, 2004; SILVEIRA ; GAVA, 2004). Juntamente com o P, o K é dos nutrientes que mais limita a produção nesses solos, sendo que a sua utilização tem possibilitado aumentos significativos de produtividade em grande parte das áreas plantadas, decorrentes dos baixos teores desse nutriente nesses solos (ALMEIDA et al., 2007).

O estudo da calibração de adubação NPK serve como base para recomendações adequadas de fertilização, o que para a cultura do eucalipto é relevante frente à carência de recomendação mais atual, uma vez que as quantidades recomendadas estão bem aquém das utilizadas atualmente pelas empresas. De acordo com Silva (2011), diversos experimentos têm demonstrado maior produtividade do eucalipto com o aumento das doses de fertilizantes. O autor menciona que esses resultados mudaram o manejo da fertilização nos plantios comerciais, visto que no passado não se aplicava fertilizante ou a quantidade aplicada era pequena e, atualmente, estes recebem doses elevadas de fertilizantes. A calibração de adubação NPK evita também a aplicação de elevadas doses de fertilizantes, o que implica em menor custo na produção. Castro (2011) relatou que a adubação assume, dentro dos aspectos

da cultura do eucalipto, importância impar, uma vez que é parcela significativa dos custos de produção.

Considerando o exposto, as recomendações de adubação devem ser definidas em nível regional para as espécies e tipos de solo mais representativos (FERREIRA, 2011); pois a produtividade, de acordo com Stape, Binkley e Ryan (2008), é governada pelas condições ambientais, sendo a disponibilidade de água um dos principais fatores que limita o crescimento dos eucaliptos. Nesse sentido, a dose adequada de fertilizante varia com o ambiente e com clone.

## 2.2 CLONE I144

Além dos fatores ambientais como clima e solo, deve-se considerar a adoção de materiais genéticos mais produtivos e provavelmente mais exigentes nutricionalmente. Como mencionado anteriormente, a maioria dos florestamentos usam clones, como o *E. urograndis*, resultante híbrido cruzamento *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (VALERI et al., 2001). Os clones são caracterizados como plantas de desenvolvimento acelerado, tolerantes às doenças ou às adversidades climáticas e que geram produtos de qualidade (BENATTI, 2013). Segundo Paludzyszyn Filho et al. (2004), dessa combinação interespecífica, espera-se árvores vigorosas, com madeira de maior densidade e com alta resistência ao cancro causado pelo fungo *Crytonectria cubensis*, sendo esse híbrido dos mais plantados no Brasil.

Alves (2011) salienta que devem ser realizadas recomendações específicas de adubação para cada material genético devido às exigências marcantes e diferenciadas entre eles por nutrientes. Segundo Silva (2011), a recomendação da literatura precisa ser reavaliada, principalmente devido à utilização de materiais genéticos mais produtivos e provavelmente mais exigentes que os utilizados para gerar a recomendação atual.

Nesse sentido, Dias, Barros Filho e Barros (2011) estudaram teores críticos de nutrientes em mini jardim clonal de eucalipto, e constataram que adubações generalistas não são totalmente eficazes no suprimento de nutrientes a diferentes clones, já que os mesmos podem apresentar teores críticos distintos. Além disso, os materiais genéticos podem ser agrupados quanto às exigências nutricionais, visando manejo de adubação mais específico por grupo. Também Matos et al. (2012) avaliaram o desenvolvimento inicial e o estado nutricional de cinco clones de eucalipto provenientes de locais de seleção no nordeste do

Pará, e identificaram grupos de clones com diferentes padrões de absorção de macronutrientes, e que tais padrões indicam, pelo menos inicialmente, que os materiais genéticos da Amazônia oriental, e os vindos do sudeste do País, diferem quanto a absorção dos elementos Mg e P, o que pode implicar em manejo diferenciado das adubações.

Segundos Neves et al. (2011), os clones I144 e I220, por apresentarem maiores valores de densidade básica da madeira, são considerados os mais indicados para produção de bioenergia. Esses clones também apresentam elevado teor de lignina, o que os qualifica para a produção de carvão vegetal.

Exemplos de estudos envolvendo a utilização do clone I144, utilizado nesta pesquisa são os de Pinto et al. (2011), que estudaram, em experimento conduzido em condições de casa de vegetação, a eficiência nutricional de seis clones de eucalipto na fase de mudas: 58 e 386 (Cenibra), GG100 (Grupo Gerdau), I042, I144 (Acesita) e VM1 (Vallourece Mannesman do Brasil) cultivados em solução nutritiva. Os resultados obtidos demonstraram que entre os materiais genéticos avaliados, os clones 386 e I144 foram os mais eficientes na utilização de N e na absorção e utilização de P, sendo esses clones fundamentais para o uso mais racional de P, o que poderia contribuir para a redução dos custos da fertilização sem comprometer a produtividade do sítio florestal. Esses clones apresentam também maior eficiência na utilização de K, assim conseguem se estabelecer em solos com menor disponibilidade desse nutriente, sem comprometer a produção de biomassa. Pinto (2009), em avaliação de clones, verificou que, de forma geral, que eles podem ser separados quanto à eficiência nutricional para os macronutrientes, na seguinte sequência: I144 > 386 > 58  $\approx$  GG100 > VM1 > I042, sendo que o clone I144 mostrou-se mais eficiente nutricionalmente, principalmente para N, P, K, Mg e enxofre (S), com maior eficiência na absorção e utilização destes nutrientes na produção de biomassa.

### 2.3 ADUBAÇÃO NITROGENADA

O N é constituinte de vários compostos em plantas, destacando-se os aminoácidos, ácidos nucléicos e clorofila. No solo, a principal fonte de N para as plantas é proveniente da mineralização da matéria orgânica (M.O.) (CANTARELLA, 2007). Na camada superficial do solo, o N encontra-se principalmente em formas orgânicas, ligado a restos vegetais parcialmente decompostos, ao húmus e, em menores quantidades, nas formas de nitrato e

amônio, expressivamente assimiláveis pelas plantas (LOPES; BASTOS; DAHER, 2007). O  $\text{NH}_4^+$  proveniente da fertilização nitrogenada e da mineralização da M.O. pode ser absorvido pelas plantas, entretanto, o  $\text{NO}_3^-$  é a forma de N predominantemente absorvida (MALAVOLTA, 2006).

Os sintomas visuais da deficiência de N em *Eucalyptus* são verificados quando da ocorrência de folhas velhas inicialmente apresentando coloração verde clara, que vão ficando amareladas e com pequenos pontos avermelhados ao longo do limbo; posteriormente, os pontos cobrem todo o limbo, ocorrendo avermelhamento generalizado (SILVEIRA et al., 2001). Segundo Wadt et al. (1999), as variações no estado nutricional de eucaliptos sob influência de materiais genéticos e da idade da árvore demonstraram que a deficiência de N é maior no início do ciclo da cultura. De acordo com Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), a concentração foliar de N associado à altas produtividades de *E. grandis* encontra-se entre 21 a 23 g kg<sup>-1</sup>.

As espécies de *Eucalyptus* são consideradas exigentes em nutrientes, o seu acúmulo no tronco e na parte aérea total segue a seguinte ordem: N > Ca > K > Mg > P (ANDRADE et al., 2006; FARIA et al., 2008). Benatti (2013) constatou em clones de eucalipto, aos seis anos e meio de idade, a seguinte sequência: Ca > N > K > Mg > P, no entanto, o autor ressaltou que a quantidade de Ca e N acumulada foi muito semelhante. Nesse sentido, dentre os macronutrientes primários verifica-se que o N é o mais extraído pela cultura.

No entanto, a influência da adubação nitrogenada tem sido contraditória em plantios de eucalipto. Os ganhos de produtividade desses plantios em resposta à sua fertilização têm sido relativamente baixos ou ausentes, o que indica que o solo tem sido capaz de suprir boa parte da demanda deste nutriente para as plantas, o que pode ser atribuído à maior quantidade de N mineralizado da matéria orgânica do solo (GAMA-RODRIGUES, 1997; GAMA-RODRIGUES et al., 2005). Jesus (2008) salientou em sua pesquisa que poucos trabalhos no País foram encontrados sobre a resposta do eucalipto à adubação nitrogenada e, os poucos consultados mostraram a inconsistência das respostas e dados contrastantes com relação à taxa de recuperação do N do fertilizante.

De acordo com Gonçalves, Raij e Gonçalves (1997), a recomendação de doses de N em plantios de eucalipto é baseada no teor de M. O. no solo, partindo da suposição de que, em solos com teores mais elevados, o estoque de N é maior, sendo para esta condição recomendada a menor dose. Segundo Maeda (2010), para a recomendação de adubação

nitrogenada baseada no teor de M.O., supõe-se que o N nela presente será liberado com a sua mineralização, e que o conteúdo de N tem relação direta com o conteúdo de M.O. De acordo com Takahashi et al. (2004), a dose adequada de N para Neossolos quartzarênicos com baixo teor de M.O. (10-20 g dm<sup>-3</sup>) está compreendida entre 80 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Gava et al. (2003) avaliaram o crescimento de clones de *Eucalyptus* em função da aplicação de N em solos com alto teor de M.O., e sugeriram que existe potencial de reposta do eucalipto à aplicação de N mesmo em solos com teores mais elevados de M.O. Em trabalho desenvolvido por Araújo et al. (2003), o potencial de resposta do *Eucalyptus* a aplicação de N, em solos com baixo teor de M.O. (20 g dm<sup>-3</sup>), foi segundo esses autores maior que os relatados em vários trabalhos. Ainda, de acordo com esses autores, para aumentar a eficiência de resposta, sugere-se que as doses sejam mais elevadas que as comumente utilizadas (> 150 kg ha<sup>-1</sup> de N) e também parceladas em pelo menos três épocas (2-3, 6-9 e 15-18 meses após o plantio).

A prática da adubação nitrogenada é realizada normalmente no período entre o plantio até o fechamento da copa, posto que a alta demanda por nutrientes, principalmente pelo N, é requerida até à formação da copa (ciclo geoquímico). Segundo Benatti (2013), nesse período, a relação solo planta representa a disponibilidade dos nutrientes para o desenvolvimento das plantas, e nesse sentido as adubações devem ser realizadas nesta fase, pois, de maneira geral, os solos brasileiros apresentam baixos teores de nutrientes. Após esse período, a ciclagem de nutrientes, pela deposição folhas, galhos e demais partes da planta que caem sobre o solo, formam a serapilheira que assume papel importante no fornecimento de nutrientes para as plantas por meio da sua decomposição. Esse novo ciclo da cultura é denominado de ciclo biogeoquímico, em que, segundo Gonçalves et al. (2000), a demanda das plantas pelos nutrientes do solo diminui, em virtude da otimização desse ciclo, logo a resposta à fertilização mineral é cada vez menor.

Segundo Santana et al. (2008b), aproximadamente 75% de N, P, K, Ca e Mg estão em outros componentes da parte aérea da árvore, e não no lenho, evidenciando a importância do descascamento e manutenção da copa no campo no processo da colheita. Somado a isso, de acordo com Vieira et al. (2009) na serapilheira depositada sobre o solo, o N é o nutriente mais representativo, seguido pelo Ca, K e Mg, sendo o N e Ca os elementos de maior expressão na serapilheira do *Eucalyptus urograndis* para transferência ao solo.

Nesse sentido, a prática da adubação nitrogenada na fase inicial do crescimento até o fechamento da copa da cultura é de grande importância, visto que nesse período há maior requisição dos nutrientes, em especial do N. Esse fato aliado ao baixo teor de M.O. no solo propicia condições para respostas da cultura à fertilização nitrogenada.

## 2.4 ADUBAÇÃO FOSFATADA

O P é componente vital para todos os seres vivos, pois compõe a estrutura genética fundamental (DNA e RNA) e está envolvido em produção, transferência e armazenamento de energia via ATP e NAPH em todos os processos biológicos na natureza. Nas plantas, o P é necessário para fotossíntese, respiração, função celular, transferência de genes bem como reprodução (STAUFFER ; SLULEWSKI, 2004). O íon  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  no solo é forma preferencialmente absorvida pelas plantas (RAIJ, 2011). O contato entre o P na solução do solo e a raiz se faz quase que exclusivamente por difusão, processo segundo o qual o elemento movimenta-se à curtas distâncias dentro de fase aquosa estacionária, denominada solução do solo, a favor do gradiente de concentração (MALAVOLTA, 2006).

O sintoma característico de deficiência severa de P na cultura do eucalipto, no campo, de acordo com Silveira e Gava (2004), é a redução do tamanho das plantas, as quais ficam completamente arroxeadas. Esses autores, a partir de dados propostos por vários outros autores, determinaram faixas de concentrações de deficiência e adequadas de P em folhas recém-maduras de espécies de eucalipto nos estádios juvenil e adulto, com variação dos valores das faixas de deficiência e adequadas para os dois estádios: juvenil 0,4 - 1,0 g kg<sup>-1</sup> (deficientes) e 1,0 - 4,0 g kg<sup>-1</sup> (adequadas); adulto 0,7 - 1,1 g kg<sup>-1</sup> (deficientes) e 0,8 - 3,1 g kg<sup>-1</sup> (adequadas).

As espécies de *Eucalyptus* são consideradas exigentes em P principalmente na fase inicial do crescimento (STAHL, 2009). Considerando o acúmulo dos nutrientes no tronco e na parte aérea total seguem a seguinte ordem: N > Ca > K > Mg > P (ANDRADE et al., 2006; FARIA et al., 2008). Baseando-se nesses dados, dentre os macronutrientes, o P é o menos extraído pela cultura. No entanto, é dos que mais limita a produção na região do Cerrado, pois os seus teores na solução do solo são geralmente baixos, além de apresentar alta capacidade de adsorção e precipitação, uma vez que esses solos são extremamente ácidos e com altos teores de Al trocável (SOUSA; LOBATO; REIN, 2004; SILVEIRA ; GAVA, 2004). Uma



forma de compensar essa baixa disponibilidade é a aplicação de elevadas quantidades de fertilizantes fosfatados, porém tal prática onera bastante os custos de implantação do eucalipto. Portanto, a prática racional da adubação otimizando a utilização de recursos financeiros e ambientais depende de criteriosos estudos de calibração (BOGNOLA et al., 2011; MAEDA ; BOGNOLA, 2012).

Os fertilizantes fosfatados mais comumente utilizados nos plantios de eucalipto no País são o superfosfato simples e o superfosfato triplo, isoladamente ou junto com formulação NPK (06-30-06), aplicados na cova ou no sulco de plantio, e os fosfatos naturais reativos aplicados em faixa de 1,0 a 1,5 m de largura e incorporados ou em sulcos de 15 a 30 cm de profundidade (SILVEIRA ; GAVA, 2004). Segundo Paula e Lopes (2003), os tratamentos que receberam superfosfato triplo apresentaram ganho médio em altura de 10, 25 e 34% em relação aos tratamentos com superfosfato simples, fosfato natural e a testemunha (sem P), respectivamente. De acordo com Leite et al. (2009), a prática de localizar fertilizantes fosfatados solúveis em parte do volume de solo cultivado, pode reduzir a fixação do P e otimizar a sua absorção pelas plantas. Outra forma de manejo da adubação fosfatada é a combinação de fontes solúveis com pouco solúveis, preconizando que as fontes solúveis como superfosfato simples ou triplo forneça P na fase inicial do crescimento (arranque inicial), e as fontes de baixa solubilidade, como fosfatos reativos, forneceriam P nas fases de manutenção das necessidades e crescimento em idades adultas (FERNANDEZ et al. 2000; BARROS; NEVES; NOVAIS, 2005).

A fertilização corretiva de NPK, com alta proporção de  $P_2O_5$ , melhora o crescimento do eucalipto (PEÑALOZA, 2005). Neste contexto, de acordo com Gava et al. (1997), a maioria das áreas em cultivo e grande parte daquelas que serão agregadas respondem positivamente à adubação, principalmente a fosfatada.

Costa et al. (2008) constataram em solo de cerrado, que para o máximo crescimento em altura do *Eucalyptus camaldulensis*, aos quatro meses após transplante das mudas no campo, são indicadas as doses de  $75 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$  aplicados no sulco de plantio, e 50 e 33  $\text{kg ha}^{-1}$  de N e  $K_2O$ , respectivamente, no primeiro parcelamento das adubações nitrogenada e potássica. Dessa forma, os resultados de Rocha et al. (2011), para o índice de sobrevivência e desenvolvimento inicial de mudas de *Eucalyptus urograndis* no campo, produzidas sob doses crescentes de  $P_2O_5$ , demonstraram que a adubação fosfatada em mudas de eucalipto aumentou 27% o índice de sobrevivência das mudas no campo. Paula e Lopes (2003) estimaram que a

dose para obtenção do máximo crescimento em altura de planta seria de 155 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, na forma de superfosfato triplo, para teores médios de P de baixo a médio no solo.

Bianchini et al. (2006) avaliaram a resposta do *Eucalyptus globulus* à aplicação de doses e fontes de P nas regiões norte e oeste de Portugal, cujo solo apresentava teores de P menores do que 5 mg dm<sup>-3</sup>. Os autores concluíram que a adubação fosfatada foi eficiente no arranque inicial da floresta e ainda estimaram que a dose de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para o máximo incremento médio anual em altura, na região Norte foi de 127 kg ha<sup>-1</sup> e na região Oeste de 132 kg ha<sup>-1</sup>, na forma de superfosfato simples. Os resultados de Lupi et al. (2005) para o crescimento, biomassa e estado nutricional do *Eucalyptus globulus*, em resposta a aplicação de doses de N e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na fase inicial da cultura, mostram respostas à adubação em altura e DAP aos 8 meses após o plantio; sendo que o tratamento que recebeu 54 g planta<sup>-1</sup> de ureia e 152 g planta<sup>-1</sup> de superfosfato triplo cresceu 50% em DAP e 36% em altura, em relação à testemunha; e que a biomassa total de tronco, galhos e folhas aumentaram significativamente com a adubação.

## 2.5 ADUBAÇÃO POTÁSSICA

O K não desempenha função estrutural na planta, sendo o seu principal papel nos vegetais o de atuar na ativação enzimática (MALAVOLTA, 1980). Segundo Taiz e Zeiger (2013), o K é requerido como cofator de mais de 40 enzimas, também é o principal cátion no estabelecimento do turgor celular e manutenção da sua eletroneutralidade. É absorvido da solução do solo pelas plantas na forma K<sup>+</sup> (DECHEN ; NATHTIGALL, 2007).

Em relação aos sintomas de deficiência de K em algumas espécies de *Eucalyptus*, há variações de coloração e de intensidade; alguns genótipos apresentam clorose marginal como sintoma característico, enquanto em outros, o sintoma de avermelhamento das bordas das folhas é o mais marcante (SILVEIRA; GAVA; MALAVOLTA, 2005).

O K é dos elementos que mais limitam a produtividade do *Eucalyptus* no Brasil (SILVEIRA ; MALAVOLTA, 2000). É o segundo ou o terceiro nutriente mais acumulado, ficando às vezes abaixo do N e do Ca, sendo requerido na fase juvenil e adulta, ao contrário do P que é mais exigido na fase inicial (SILVEIRA; GAVA; MALAVOLTA, 2005; STAHL, 2009).

De acordo com Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), o teor foliar de K associado à altas produtividades de *Eucalyptus grandis* encontra-se entre 9 a 10 g kg<sup>-1</sup>. Silveira e Malavolta

(2003) avaliaram o efeito do K no crescimento, nas concentrações dos nutrientes e nas características da madeira juvenil de progênies de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden cultivadas em solução nutritiva, e verificaram diferenças quanto à faixa adequada de K nas folhas no período da fase juvenil entre as progênies, e constaram que a concentração adequada para a progênie mais responsiva ficou entre 6,4 a 15,3 g kg<sup>-1</sup>, enquanto que para a menos responsiva a faixa foi de 3,1 a 14,0 g kg<sup>-1</sup>.

Vários trabalhos consultados na literatura relatam resposta do *Eucalyptus* em solo cujos teores de K estão abaixo de 1,0 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> ( GALO, 1993; SCATOLINI et al., 1996; GAVA, 1997). Sendo assim, nas condições de teores mais elevados no solo, as respostas do *Eucalyptus* à aplicação desse nutriente não têm sido tão consistentes, tendo respondido apenas em solos cujos teores não ultrapassam esse valor (SILVEIRA ; MALAVOLTA, 2000).

Novais, Barros e Neves (1986) definiram que o nível crítico para se obter resposta à adubação potássica a campo seria de 40 g dm<sup>-3</sup> de K. Barros, Novais e Neves (1990) propuseram o conceito de nível crítico de K no solo na fase de implantação e manutenção da cultura do *Eucalyptus*, pois verificaram diferença percentual no incremento entre a ausência da aplicação de K e a maior dose (240 kg ha<sup>-1</sup> de K) em dois períodos, sendo que aos 12 meses (fase de implantação) o incremento foi de 51,2% e aos 38 meses (fase de manutenção) de 110,2%. Tal resultado demonstra que o nível crítico de K no solo aumenta com a idade da cultura.

A prática da fertilização potássica tem possibilitado aumentos significativos de produtividade em grande parte das áreas plantadas, decorrentes dos baixos teores desse nutriente encontrados nos solos (ALMEIDA et al., 2007). A recomendação racional de adubação com K no campo e viveiro, bem como a locação das espécies nas áreas de plantio, em função de suas características nutricionais, e dos teores de K no solo, são de grande importância (TEIXEIRA; GONÇALVES; ARTHUR JUNIOR, 2006).

De acordo com Almeida (2009), o *Eucalyptus grandis* responde expressivamente à adubação potássica em índice de área foliar, DAP e altura, podendo aumentar a produtividade em biomassa e volume de madeira aos três anos de idade. Segundo o autor, dentre os fertilizantes, o cloreto de potássio (KCl) e o sulfato de potássio (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) são fontes de K equivalentes, mas o preço mais alto do K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> restringe o seu uso.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 LOCAL E CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

O experimento foi conduzido de setembro de 2011 a janeiro de 2014, na Fazenda Renascença, fundo agrícola administrado pela Cargill Agrícola S/A, com latitude 20° 34' S, longitude 51° 50' O e altitude média de 305 m, no município de Três Lagoas/MS. A área experimental era ocupada por vegetação natural principalmente por plantas do bioma de Cerrado e antes da implantação do experimento por pastagem degradada. O solo é classificado como Neossolo Quartzarênico órtico.

Essa classe de solo é constituída principalmente pela fração areia ao longo do perfil (Tabela 1). Os teores de M.O. e dos nutrientes são muito baixos (Tabela 2). Além da baixa fertilidade natural, a lixiviação de nitratos e de sulfatos é intensa devido a alta macroporosidade e permeabilidade dos solos de textura arenosa.

**Tabela 1** - Análise granulométrica do solo da área experimental. Três Lagoas/MS, 2011.

<b>Profundidades (cm)</b>	<b>Argila</b>	<b>Silte</b>	<b>Areia Total</b>
		g kg <sup>-1</sup>	
<b>0-20</b>	85	17	898
<b>20-40</b>	104	20	876
<b>40-60</b>	114	17	869
<b>60-80</b>	121	18	861
<b>80-100</b>	130	21	849
<b>100-120</b>	145	24	831

Fonte: Elaboração do próprio autor.

A amostragem para análise química do solo foi realizada nas profundidades de 0 a 20 e 20 a 40 cm (Tabela 2), segundo a metodologia descrita por Raij et al. (2001).

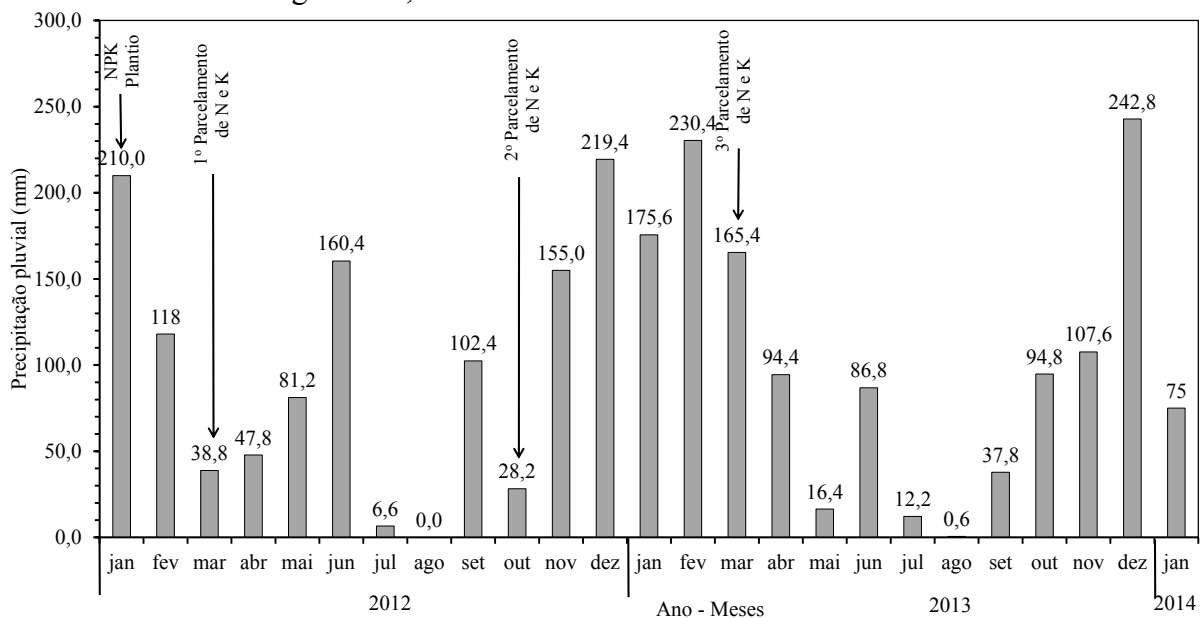
A classificação climática da região de acordo com Köppen é Aw, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. Os dados da precipitação pluvial registrados no período compreendido entre o plantio até aos 24 meses de idade da cultura do eucalipto constam na Figura 1.

**Tabela 2** - Análise química inicial do solo. Três Lagoas/MS, 2011.

Prof. (cm)	P <sub>resina</sub> mg dm <sup>-3</sup>	MO g dm <sup>-3</sup>	pH CaCl <sub>2</sub>	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB
0-20	1	7,4	4,2	0,2	4,2	1,9	17	4,3	6,3
20-40	1	6,8	4,2	0,3	1,6	1,1	18	4,5	3,0
Prof. (cm)	CTC mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	V %	m	S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	B	Cu	Zn	Mn	Fe
0-20	23,3	27	25	4,7	0,27	0,4	0,2	1,5	13
20-40	21,0	14	25	4,0	0,20	0,5	0,2	1,4	20

Obs.: O extrator usado para os micronutrientes foi o DTPA, exceto para o boro que foi a água quente.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

**Figura 1** - Precipitação pluviométrica mensal (mm) registrada na Estação Meteorológica Automática de Três Lagoas/MS, 2012/14.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

## 3.2 DESCRIÇÕES DAS PRÁTICAS SILVICULTURAIS

### 3.2.1 Implantação (2011/12)

Em setembro de 2011 iniciaram-se as atividades operacionais para a instalação do experimento: a) controle inicial das formigas cortadeiras: 10 a 12 de setembro de 2011, com aplicação de isca formicida granulada (1,5 g ha<sup>-1</sup> do ingrediente ativo (i.a.) sulfluramida); b) calagem: 24 de setembro de 2011, com aplicação de 1500 kg ha<sup>-1</sup> de calcário de PRNT 80% a lanço em área total; c) gessagem: 25 de setembro de 2011, com aplicação de 500 kg ha<sup>-1</sup> de gesso a lanço em área total; d) controle de pré-plantio das formigas cortadeiras, em duas

etapas: 5 a 7 de dezembro de 2011 e 2 a 4 de janeiro de 2012, com aplicação de isca formicida granulada (0,9 e 0,6 g ha<sup>-1</sup> do i.a. sulfluramida, respectivamente); e) controle químico de plantas daninhas em área total (dessecação): 20 de janeiro de 2012, sendo aplicados 2880 g ha<sup>-1</sup> do i.a. do glyphosate; f) preparo do solo: 27 de janeiro de 2012, subsolagem na linha de plantio, com utilização de subsolador, até a profundidade média de 45 cm; g) plantio das mudas e demarcação das parcelas experimentais: 28 de janeiro de 2012; h) fertilização de base: em 29 de janeiro de 2012, realizada a aplicação manual dos fertilizantes, sendo aplicado em filete contínuo na linha do sulco de plantio, simulando a aplicação realizada comercialmente, sendo as quantidades aplicadas conforme os tratamentos; i) irrigação manual das mudas: 28 a 31 de janeiro; j) replantio das mudas mortas: em 20 de fevereiro de 2012 e k) irrigação: 20 a 23 de fevereiro de 2012.

### **3.2.2 Manutenção (2012)**

Em 30 de março de 2012 foi realizada a primeira fertilização de cobertura, sendo os adubos aplicados manualmente na entre linha (projeção da copa), distribuídos em meia-lua na parte superior da linha de plantio, e as quantidades aplicadas conforme os tratamentos. Além dessa prática foram realizadas outras atividades operacionais para a manutenção do experimento: a) controle químico das plantas daninhas na entre linha: 12 de março e 5 de novembro de 2012, foram aplicados 2880 g ha<sup>-1</sup> do i.a. do glyphosate; b) controle químico das plantas daninhas na linha: 9 de maio de 2012, com aplicação de herbicida pré-emergente, sendo usado 0,14 g ha<sup>-1</sup> do i.a. isoxaflutol; c) controle de manutenção das formigas cortadeiras: 4 de junho e 7 de setembro de 2012, com aplicação de isca formicida granulada (0,3 e 1,5 g ha<sup>-1</sup> do i.a. de sulfluramida, respectivamente) e d) segunda fertilização de cobertura: 29 de outubro de 2012.

### **3.2.3 Manutenção (2013)**

a) controle químico das plantas daninhas na entre linha: 22 de janeiro e 5 de novembro de 2013, foram aplicados 2880 g ha<sup>-1</sup> do i.a. do glyphosate; b) terceira fertilização de cobertura: 30 de março de 2013; c) controle de manutenção das formigas cortadeiras: 22 de

maio e 1 de setembro de 2013, com aplicação de isca formicida granulada (1,5 e 0,3 g ha<sup>-1</sup> do i.a. da sulfluramida, respectivamente).

### 3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O experimento foi implantado em janeiro de 2012, com dez tratamentos distribuídos de forma casualizada em cinco blocos. Cada parcela foi composta por 56 plantas, distribuídas em sete linhas de oito plantas cada, totalizando 420 m<sup>2</sup>. Nas linhas de plantio, as mudas do clone I144 (*Eucalyptus urophylla*) foram espaçadas em 2,5 m e nas entre linhas em 3 m. Como área útil da parcela foram consideradas apenas as 30 plantas centrais, descontando-se a bordadura simples, totalizando área efetiva de amostragem de 225 m<sup>2</sup> por parcela.

Os tratamentos 2, 3, 4 e 1 corresponderam às doses de N de 0, 70, 105 e 140 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Na adubação de plantio foram aplicados 70 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Superfosfato triplo) e 15 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (Cloreto de potássio) e 49,5; 49,5 e 66 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O em cobertura (aos dois, nove e 14 meses, respectivamente). As épocas e as quantidades aplicadas dos tratamentos de doses de N constam na Tabela 3.

Os tratamentos 5, 6, 1 e 7 corresponderam às doses de P de 0, 40, 70 e 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, respectivamente, aplicadas totalmente no sulco de plantio, utilizando o superfosfato triplo como fonte. Na adubação de plantio foram aplicados 15 kg ha<sup>-1</sup> de N (ureia) e K<sub>2</sub>O (cloreto de potássio). Na adubação de cobertura de N e K foram aplicados 37,5; 37,5 e 50 kg ha<sup>-1</sup> de N e 49,5; 49,5 e 66 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (aos dois, nove e 14 meses, respectivamente) utilizando o nitrato de amônio e cloreto de potássio como fontes, respectivamente (Tabela 3).

Os tratamentos 8, 9, 10 e 1 corresponderam às doses de K (0, 90, 135 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, respectivamente). Na adubação de plantio foram aplicados 70 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (superfosfato triplo) e 15 kg ha<sup>-1</sup> de N (ureia) e 37,5; 37,5 e 50 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura (aos dois, nove e 14 meses, respectivamente), utilizando o nitrato de amônio como fonte. As épocas e as quantidades aplicadas dos tratamentos de doses de K<sub>2</sub>O estão apresentadas na Tabela 3.

**Tabela 3** - Quantidade parcial e total de nutrientes aplicados nos tratamentos. Três Lagoas/MS, 2012/13.

Trat.	Quantidade de nutriente (kg ha <sup>-1</sup> )											
	Total			Adubação de Plantio			Adubação de Cobertura					
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	2 meses		9 meses		14 meses	
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	K <sub>2</sub> O	N	K <sub>2</sub> O	N	K <sub>2</sub> O
<b>1</b>	140	70	180	15,0	70,0	15,0	37,5	49,5	37,5	49,5	50,0	66,0
<b>2</b>	0	70	180	0,0	70,0	15,0	0,0	49,5	0,0	49,5	0,0	66,0
<b>3</b>	70	70	180	15,0	70,0	15,0	16,5	49,5	16,5	49,5	22,0	66,0
<b>4</b>	105	70	180	15,0	70,0	15,0	27,0	49,5	27,0	49,5	36,0	66,0
<b>5</b>	140	0	180	15,0	0,0	15,0	37,5	49,5	37,5	49,5	50,0	66,0
<b>6</b>	140	40	180	15,0	40,0	15,0	37,5	49,5	37,5	49,5	50,0	66,0
<b>7</b>	140	100	180	15,0	100,0	15,0	37,5	49,5	37,5	49,5	50,0	66,0
<b>8</b>	140	70	0	15,0	70,0	0,0	37,5	0,0	37,5	0,0	50,0	0,0
<b>9</b>	140	70	90	15,0	70,0	15,0	37,5	22,5	37,5	22,5	50,0	30,0
<b>10</b>	140	70	135	15,0	70,0	15,0	37,5	36,0	37,5	36,0	50,0	48,0

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Foram aplicados, no plantio, os seguintes micronutrientes em todos os tratamentos: 1,0 kg ha<sup>-1</sup> de boro (B) (ácido bórico), 1,0 kg ha<sup>-1</sup> de zinco (Zn) (sulfato de zinco) e 1,0 kg ha<sup>-1</sup> de cobre (Cu) (sulfato de cobre), sendo aplicados todos no sulco de plantio. Nas adubações de cobertura de N e K, aos nove e 14 meses após o plantio, foram aplicados manualmente na entre linha (projeção da copa) 1,0 kg ha<sup>-1</sup> de B (ácido bórico) em todos os tratamentos, com distribuição em meia-lua na parte superior da linha de plantio.

### 3.4 AVALIAÇÕES

#### 3.4.1 Avaliação do crescimento: inventários e biometrias

Aos 12, 15, 18, 21 e 24 meses após o plantio foram realizados os inventários para avaliação do diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total média das plantas, sendo realizado nas áreas úteis de todas as parcelas dos cinco blocos do experimento, totalizando 30 plantas por parcela. Para a medição do DAP utilizou-se fita métrica e para a altura o hipsômetro Forestor Vertex.

O volume total de madeira com casca foi estimado pelas seguintes equações (1) e (2):

$$V_i = \frac{\pi \cdot (DAP_i)^2 \cdot ff \cdot H_i}{4} \quad (1)$$

$$V_{tc} = \sum V_i / A_i \cdot 10000 \quad (2)$$



Onde:  $V_i$  = volume de madeira com casca da planta;  $A_i$  = área da parcela útil ( $225 \text{ m}^2$ );  $V_{tc}$  = volume total de madeira com casca ( $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ );  $DAP_i$  = diâmetro à altura do peito de cada planta (m);  $ff$  = fator de forma; neste caso, devido à inexistência de fatores definidos regionalmente para o clone em estudo, foi atribuído o valor 0,5 e  $H_i$  = altura total de cada planta (m).

### **3.4.2 Concentrações dos nutrientes nas folhas**

Aos 12, 18 e 24 meses de idade foram determinadas as concentrações de macronutrientes e micronutrientes nas folhas dos eucaliptos, coletando-se amostras do terço superior das copas de oito plantas centrais dentro da área útil das parcelas de cada tratamento, sendo uma folha por quadrante, totalizando quatro por planta, constituindo assim, cinco amostras compostas por tratamento, destinadas à análise dos nutrientes segundo a metodologia descrita por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

### **3.4.3 Relação dos nutrientes nas folhas**

#### ***3.4.3.1 Estudo de doses de N***

Com os valores das concentrações dos nutrientes nas folhas expressos em porcentagem (%) foram calculadas as relações dos macronutrientes em relação à concentração do N: N/P, N/K, N/Ca, N/Mg e N/S aos 12, 18 e 24 meses de idade.

#### ***3.4.3.2 Estudo de doses de $P_2O_5$***

Com os valores das concentrações dos nutrientes nas folhas expressos em % foram calculadas as relações dos macronutrientes em relação à concentração de P: P/N, P/K, P/Ca, P/Mg e P/S aos 12, 18 e 24 meses de idade.

#### ***3.4.3.3 Estudo de doses de $K_2O$***

Com os valores das concentrações dos nutrientes nas folhas expressos em % foram calculadas as relações dos macro e micronutrientes em relação à concentração de K: K/N, K/P, K/Ca, K/Mg, K/S, K/B, K/Cu, K/Zn, K/Mn e K/Fe, aos 12, 18 e 24 meses de idade.

#### **3.4.4 Avaliação da fertilidade do solo**

Aos 24 meses de idade foram coletadas quatro amostras simples por parcela na linha de plantio nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm e na entre linha (projeção da copa) ao redor de 50 cm da planta também nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, com a utilização de trado de caneca. Essas amostras foram homogeneizadas, e dessas retirada parte para compor amostra composta, sendo essas acondicionadas em sacos plásticos identificados, secas, passadas em peneira de 2 mm e levadas ao Laboratório de Fertilidade do Solo, da Unesp/Ilha Solteira para determinação da fertilidade, segundo a metodologia descrita por Raij et al. (2001).

#### **3.4.5 Relação dos nutrientes no solo**

##### ***3.4.5.1 Estudo de doses de K<sub>2</sub>O***

Com os valores dos teores dos nutrientes no solo foi calculado o balanço do K em relação aos nutrientes catiônicos (Ca, Mg, Cu, Zn, Mn e Fe): Ca/K, Mg/K, (Ca+Mg)/K, Cu/K, Zn/K, Mn/K e Fe/K, aos 24 meses de idade.

### **3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA**

Os dados foram analisados por regressão para doses de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, utilizando-se do programa SISVAR (FERREIRA, 2008).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ADUBAÇÃO NITROGENADA

#### 4.1.1 Avaliação do crescimento: inventários e biometrias

Houve efeito quadrático da adubação nitrogenada no aumento do DAP, aos 18, 21 e 24 meses de idade (Tabela 4 e Figura 2). As doses estimadas de 63, 67 e 84 kg ha<sup>-1</sup> de N propiciaram o máximo diâmetro (8,9; 9,9 e 10,7 cm, respectivamente), sendo que nestas houve incrementos de 4,7% (63 kg ha<sup>-1</sup> de N), 5,0% (67 kg ha<sup>-1</sup> de N) e 9,4% (84 kg ha<sup>-1</sup> de N) em relação à testemunha. Costa e Tonini (2011), assim como neste estudo, verificaram que o DAP do *Eucalyptus camaldulensis*, aos 16 meses de idade, aumentou linearmente com o aumento das doses de N (0, 50, 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup>). No entanto, experimentos em casa de vegetação, com a omissão de nutrientes para o clone híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (SGARBI et al., 1999) e com *Eucalyptus citriodora* (MAFFEIS; SILVEIRA; BRITO, 2000), constataram que a omissão da aplicação de N reduziu o crescimento em diâmetro das plantas; resultados também obtidos na presente pesquisa.

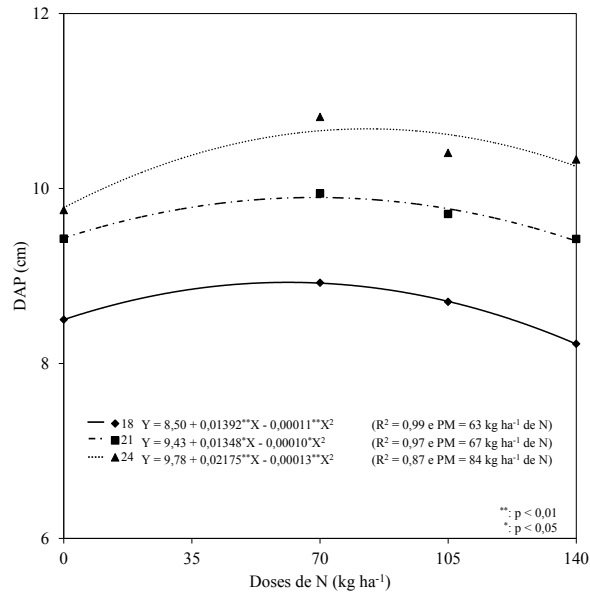
**Tabela 4** - Diâmetro à altura do peito (DAP) e altura média de plantas de eucalipto, aos 12, 15, 18, 21 e 24 meses de idade, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2013/14.

DAP (cm) nas idades avaliadas (meses)						
Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	12	Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	15	18	21	24
0	5,5 <sup>ns</sup>	0	8,0 <sup>ns</sup>	8,5 <sup>**</sup>	9,4 <sup>*</sup>	9,7 <sup>**</sup>
48	5,6	70	8,1	8,9	9,9	10,8
69	5,8	105	8,4	8,7	9,7	10,4
90	5,6	140	7,8	8,2	9,4	10,3
C.V. (%)	4,14		5,98	3,36	4,27	3,95
Altura média (m) nas idades avaliadas (meses)						
0	5,64 <sup>ns</sup>	0	9,29 <sup>ns</sup>	12,14 <sup>ns</sup>	12,23 <sup>ns</sup>	12,83 <sup>ns</sup>
48	5,99	70	10,16	12,38	13,21	13,89
69	6,46	105	10,26	12,14	12,77	13,35
90	6,18	140	10,02	11,93	12,56	13,51
C.V. (%)	4,86		4,41	3,44	5,39	3,71

ns; \*, \*\* - não significativo; significativo a 5 e 1% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

**Figura 2** - Diâmetro à altura do peito (DAP) de plantas de eucalipto em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2013/14.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Apesar do N estar relacionado ao crescimento vegetal, visto que serve como constituinte de muitos componentes das células, incluindo aminoácidos, proteínas e ácidos nucleicos (TAIZ ; ZEIGER, 2013), não foi verificada influência das doses de N na altura do eucalipto (Tabela 4).

Além do diâmetro, o volume total de madeira aos 18, 21 e 24 meses de idade foram influenciados pela aplicação das doses de N (Tabela 5). Os resultados do volume total da madeira ajustaram-se à função quadrática, sendo o máximo volume estimado com a aplicação de 59, 71 e 83 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente, aos 18, 21 e 24 meses de idade (Figura 3 A). O aumento das doses de N propiciou incremento em volume de madeira com casca de 9,2; 15,3 e 21,3%, comparando a maior dose estimada em relação à testemunha. Com a dose aplicada de 0, 14 e 26 kg ha<sup>-1</sup> de N (18, 21 e 24 meses, respectivamente), obteve-se 90% da produção máxima.

Esses resultados reforçam a importância da fertilização nitrogenada em solos com baixo teor de M.O., como o deste estudo (7 g dm<sup>-3</sup> de M.O.). Gonçalves, Raij e Gonçalves (1997) propuseram recomendações para adubação nitrogenada na cultura do eucalipto e consideraram que para teores de M.O. no solo entre 0-15 g dm<sup>-3</sup>, a dose recomendada é de 60 kg ha<sup>-1</sup> de N, ficando aos resultados obtidos na presente pesquisa.

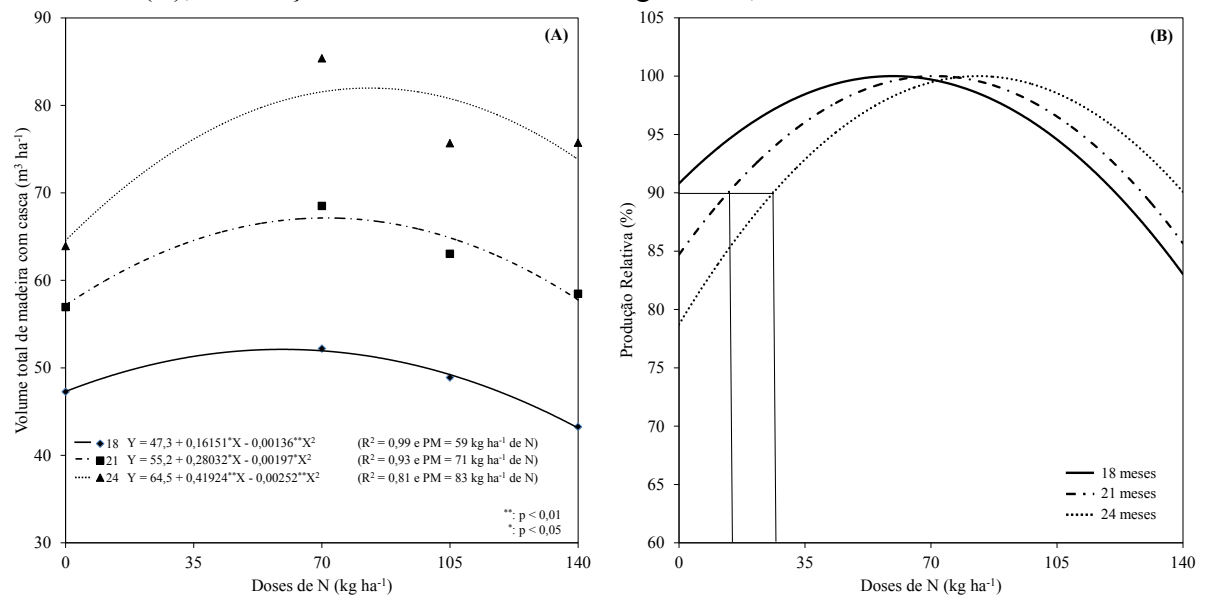
**Tabela 5** - Volume total de madeira com casca (Vt) de plantas de eucalipto, aos 12, 15, 18, 21 e 24 meses de idade, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2013/14.

Vt (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) nas idades avaliadas (meses)						
Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	12	Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	15	18	21	24
0	9,4 <sup>ns</sup>	0	33,6 <sup>ns</sup>	47,3 <sup>**</sup>	56,9 <sup>*</sup>	63,9 <sup>**</sup>
48	10,4	70	36,3	52,2	68,5	85,4
69	11,0	105	39,7	48,9	63,0	75,6
90	10,2	140	34,4	43,2	58,5	75,7
C.V. (%)	11,10		12,85	8,11	8,79	10,83

ns; \*, \*\* - não significativo; significativo a 5 e 1% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

**Figura 3** - Volume total de madeira com casca de plantas de eucalipto (A) e produção relativa (B), em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2013/14.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Pulito (2009) avaliou a resposta do *Eucalyptus* à fertilização nitrogenada e o estoque de N biodisponível nos solos e constatou que, nos dois primeiros anos, a produtividade relativa da testemunha foi, em média, 16% menor do que a obtida nos tratamentos que receberam adubação comercial nos solos de textura arenosa; 9% menor nos solos de textura média e 10% menor nos solos de textura argilosa e muito argilosa. Sendo que, o maior potencial de resposta à fertilização, em idade jovem, ocorreu nos solos onde foram encontrados os menores teores de N total e N mineralizável. Em estudo com doses de N parceladas em três épocas com o clone de *Eucalyptus urophylla* em solo de Cerrado, Jesus et al. (2012) constataram, aos 30 meses pós-plantio, que a dose de 154 kg ha<sup>-1</sup> de N

proporcionou o volume máximo, com incremento de 58,1% superior à produção sem adubação nitrogenada, e para obter 90% da produção máxima, a dose de 74 kg ha<sup>-1</sup>. Além dos tratamentos com doses de N, esses autores utilizaram tratamento adicional que consistiu na aplicação de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N como nitrato de amônio, e verificaram que esse não diferiu da mesma dose de N com sulfato de amônio, o que indica que a resposta deve-se ao suprimento de N e não de S.

Embora no presente estudo a cultura tenha respondido às doses de N testadas, os ganhos em função da adubação nitrogenada foram de baixa magnitude. Isso pode ser justificado pois, segundo Barreto et al. (2011), em áreas recém-florestadas com eucalipto a mineralização das reservas orgânicas de N pode suprir a demanda das árvores ao longo do ciclo da cultura. Gama-Rodrigues et al. (2005) também relataram que os ganhos em produtividade das plantações de eucalipto em função da adubação nitrogenada têm sido relativamente baixos, o que indica que o solo tem sido capaz de suprir boa parte da demanda deste nutriente para as plantas.

#### **4.1.2 Avaliação da fertilidade do solo**

Os teores de P na entre linha (0-20 e 20-40 cm) foram influenciados pelas doses de N. Esses valores ajustaram-se a função quadrática em relação às doses de N aplicadas (Tabela 6 e Figura 4 A).

De acordo com os limites de interpretação dos teores dos nutrientes proposto por Raij et al. (1997), os teores de P na linha estão próximo do muito alto (> 16 mg dm<sup>-3</sup> de P, para espécies florestais) e na entre linha baixos (3-5 mg dm<sup>-3</sup> de P, para espécies florestais). Os maiores valores verificados na linha devem-se a aplicação do nutriente na linha de plantio. Ao contrário do verificado para o P, os teores de K na entre linha foram superiores ao da linha (baixo e muito baixo, respectivamente), devido a maior quantidade de K aplicada em cobertura na projeção da copa (Tabela 6).

**Tabela 6** - Teores de macronutrientes na linha e na entre linha das plantas, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2014.

		<b>Linha</b>				
<b>Prof. (cm)</b>	<b>Doses de N (kg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>P</b>	<b>S-SO<sub>4</sub></b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>
		<b>mg dm<sup>-3</sup></b>		<b>mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup></b>		
<b>0-20</b>	<b>0</b>	16,3 <sup>ns</sup>	2,0 <sup>ns</sup>	0,3 <sup>ns</sup>	2,3 <sup>ns</sup>	1,0 <sup>ns</sup>
	<b>70</b>	12,0	2,3	0,4	3,3	2,0
	<b>105</b>	20,7	2,7	0,6	3,7	2,0
	<b>140</b>	12,7	1,7	0,7	3,7	2,0
	<b>C.V. (%)</b>		22,37	25,51	12,97	11,79
<b>20-40</b>	<b>0</b>	16,7 <sup>ns</sup>	2,0 <sup>ns</sup>	0,2 <sup>ns</sup>	2,0 <sup>ns</sup>	1,0 <sup>ns</sup>
	<b>70</b>	14,7	2,7	0,2	2,0	1,0
	<b>105</b>	15,0	2,0	0,4	2,0	1,0
	<b>140</b>	14,7	2,3	0,3	1,7	1,0
	<b>C.V. (%)</b>		21,08	16,56	8,60	15,06
<b>Entre Linha (Projeção da Copa)</b>						
<b>0-20</b>	<b>0</b>	2,7*	2,7 <sup>ns</sup>	0,9 <sup>ns</sup>	9,7 <sup>ns</sup>	1,3 <sup>ns</sup>
	<b>70</b>	4,7	2,3	1,6	6,3	2,3
	<b>105</b>	5,3	2,7	0,9	11,0	1,3
	<b>140</b>	2,7	2,7	1,5	2,7	1,3
	<b>C.V. (%)</b>		16,78	24,99	12,87	35,74
<b>20-40</b>	<b>0</b>	1,7*	6,3 <sup>ns</sup>	1,0 <sup>ns</sup>	1,3 <sup>ns</sup>	1,0 <sup>ns</sup>
	<b>70</b>	3,0	4,0	1,5	2,0	1,0
	<b>105</b>	2,7	6,0	0,9	3,3	2,7
	<b>140</b>	1,7	4,7	1,3	1,3	1,0
	<b>C.V. (%)</b>		12,01	20,45	12,11	17,57

ns; \* - não significativo e significativo a 5% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

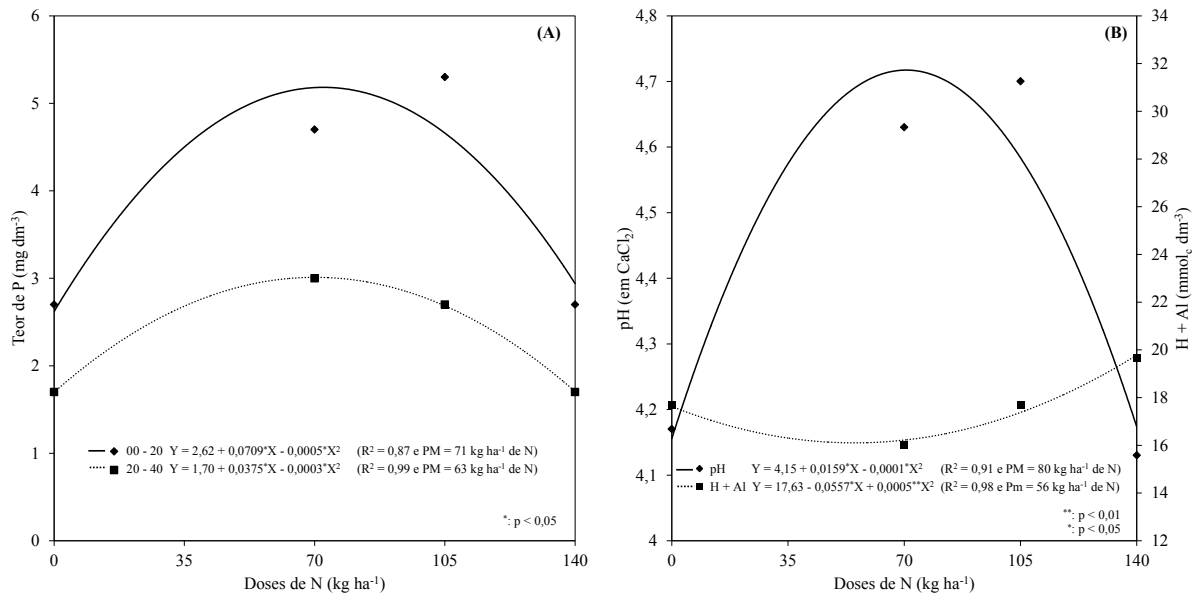
De forma geral, os teores de Ca em superfície permaneceram de médio a alto e foram superiores aos da profundidade de 20 a 40 cm, cujos teores foram baixos. Tal fato deve-se a não incorporação do calcário, pois o mesmo foi aplicado a lanço e não incorporado. Os teores de Mg e S, independente do local amostrado e das profundidades, ficaram baixos.

Os máximos teores de P na entre linha foram obtidos com aplicação de 71 e 63 kg ha<sup>-1</sup> de N (0-20 e 20-40 cm, respectivamente) (Figura 4 A). A maior disponibilidade de P está associada à redução da acidez potencial e ao aumento do pH verificados somente na entre linha (0-20 cm), sendo o seu máximo obtido com a aplicação de 80 kg ha<sup>-1</sup> de N (Figura 4 B).

De acordo com Malavolta (2006), as mudanças no pH da rizosfera do solo mais distante tem sido atribuído à adubação nitrogenada, visto que o N é o nutriente absorvido, em geral, em maior proporção. Quando a raiz absorve mais amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), há acidificação

devido à “troca” por  $H^+$ , o processo da nitrificação também gera prótons no meio. Com absorção do nitrato ( $NO_3^-$ ) tem-se a troca por  $OH^-$  que alcaliniza o meio.

**Figura 4** - Teor de P no solo na entre linha das plantas, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm (A), pH e acidez potencial na entre linha de 0-20 cm (B), em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2014.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Sousa, Miranda e Oliveira (2007) relataram que a adubação nitrogenada possa resultar em maiores alterações no pH da rizosfera. Com nitrogênio absorvido, preferencialmente, como nitrato, a planta passa a absorver mais ânions do que cátions, resultando em pH mais alto na rizosfera. Sonn e Miller (1977) afirmam que no balanço da absorção iônica, em situações, de predomínio de absorção de ânions, deve ser compensado pela extrusão de  $OH^-$ ,  $HCO_3^-$  ou  $RCOO^-$ . Raji (2008) relata um importante mecanismo que explica a elevação do pH da rizosfera, que é a absorção diferenciada de cátions e ânions pela absorção de nitrato pelas raízes, e que em termos estequiométricos, as plantas em geral absorvem mais nitrato do que cátions básicos (K, Ca e Mg), o que resulta em um resíduo alcalino no solo. Nesse sentido, partindo do pressuposto que a planta tenha absorvido mais nitrato ( $NO_3^-$ ) do que amônio ( $NH_4^+$ ), e que a planta tenha atingido um ponto no qual a adição contínua de nitrogênio (Nitrato de Amônio) não mais se relaciona a aumentos no seu crescimento ou produtividade, os máximos valores de P e de pH relatados estão próximo ao valor de 83 kg ha<sup>-1</sup> de N, que propiciou o máximo volume de madeira aos 24 meses de idade (Figura 3 A). Sendo assim, com aumento das doses de N, ter-se-ia absorção crescente de  $NO_3^-$  e extrusão de  $OH^-$ ,



resultando na elevação do pH e conseqüentemente com efeito indireto deste no aumento da disponibilidade de fósforo, conforme afirmado por Malavolta (1980).

No entanto, considerando que todo o N aplicado na forma de Nitrato de amônio tenha sido absorvido na forma de nitrato, e que no processo nitrificação do amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) resulte na formação de um  $\text{NO}_3^-$  e dois  $\text{H}^+$ , e que além do nitrato absorvido proveniente do fertilizante, fosse também esse, resultaria em dois  $\text{OH}^-$ . Assim, no balanço das cargas, resultaria em neutralidade com duas moléculas de ( $\text{H}_2\text{O}$ ), com a não modificação do pH.

Os teores dos micronutrientes no solo não foram influenciados pela fertilização nitrogenada (Tabela 7). De acordo com os limites de interpretação dos teores dos micronutrientes no solo proposto por Raij et al. (1997), os teores de Mn e Fe, em todas as avaliações, são tidos como altos ( $> 5,0 \text{ mg dm}^{-3}$  de Mn e  $>12 \text{ mg dm}^{-3}$  de Fe).

Os valores de Cu e Zn foram altos na linha ( $> 0,8 \text{ mg dm}^{-3}$  de Cu e  $>1,2 \text{ mg dm}^{-3}$  de Zn), devido a aplicação desses dois nutrientes na linha de plantio no início do experimento, em todos tratamentos. Na entre linha os teores para Cu foram médios ( $0,3-0,8 \text{ mg dm}^{-3}$  de Cu) e do Zn baixos ( $0,0-0,5 \text{ mg dm}^{-3}$  de Zn).

Os teores B estavam altos ( $> 0,60 \text{ mg dm}^{-3}$  de B) nas duas profundidades avaliadas nas entre linhas; em contrapartida, na linha, os teores foram médios ( $0,21-0,60 \text{ mg dm}^{-3}$  de B). Essa diferença está ligada ao modo de aplicação desse nutriente, uma vez que, foi aplicado  $1 \text{ kg ha}^{-1}$  de B no sulco de plantio e  $2 \text{ kg ha}^{-1}$  de B parcelados em duas aplicações de cobertura (nove e quatorze meses após o plantio), sendo esses aplicados na entre linha (projeção da copa).

**Tabela 7** - Teores de micronutrientes na linha e entre linha das plantas, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2014.

		<b>Linha</b>				
<b>Prof. (cm)</b>	<b>Doses de N (kg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>B</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>
		<b>mg dm<sup>-3</sup></b>				
<b>0-20</b>	<b>0</b>	0,54 <sup>ns</sup>	2,03 <sup>ns</sup>	1,40 <sup>ns</sup>	7,00 <sup>ns</sup>	28,00 <sup>ns</sup>
	<b>70</b>	0,49	3,13	1,77	8,13	26,00
	<b>105</b>	0,43	5,90	3,20	7,87	33,00
	<b>140</b>	0,42	8,10	4,20	8,57	27,33
	<b>C.V. (%)</b>		24,25	23,60	38,34	17,16
<b>20-40</b>	<b>0</b>	0,54 <sup>ns</sup>	0,47 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	4,60 <sup>ns</sup>	25,33 <sup>ns</sup>
	<b>70</b>	0,55	0,47	1,30	5,70	24,00
	<b>105</b>	0,48	0,60	1,43	5,37	29,33
	<b>140</b>	0,52	0,70	1,73	4,90	21,33
	<b>C.V. (%)</b>		8,26	10,99	36,82	25,00
		<b>Entre Linha (Projeção da Copa)</b>				
<b>0-20</b>	<b>0</b>	0,93 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	9,47 <sup>ns</sup>	30,67 <sup>ns</sup>
	<b>70</b>	0,76	0,33	0,37	9,67	28,67
	<b>105</b>	0,90	0,30	0,33	9,77	33,33
	<b>140</b>	0,76	0,37	0,20	9,73	37,67
	<b>C.V. (%)</b>		11,80	16,58	10,29	15,64
<b>20-40</b>	<b>0</b>	1,49 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	6,13 <sup>ns</sup>	25,33 <sup>ns</sup>
	<b>70</b>	1,16	0,40	0,20	6,77	23,33
	<b>105</b>	1,32	0,40	0,20	7,17	24,00
	<b>140</b>	1,06	0,37	0,10	7,63	23,33
	<b>C.V. (%)</b>		20,60	9,32	6,08	22,78

ns - não significativo pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

#### 4.1.3 Concentrações dos nutrientes nas folhas

As concentrações foliares de N, P, K, Mg e S não foram influenciadas pelas doses de N nas três avaliações, sendo o seu efeito verificado somente na concentração de Ca, aos 18 meses (Tabela 8).

As concentrações de P, K, Mg e Ca nas três épocas estiveram dentro da faixa descrita como adequada por Dell et al. (2001). O N aos 18 meses e o S aos 12 meses ficaram pouco abaixo dos limites. Esses autores propõem as seguintes faixas consideradas adequadas para o eucalipto na fase inicial de crescimento: N de 18 a 30 g kg<sup>-1</sup>; P de 1 a 3 g kg<sup>-1</sup>; K de 6 a 18 g kg<sup>-1</sup>; Ca de 3 a 8 g kg<sup>-1</sup>; Mg 1 a 3 g kg<sup>-1</sup> e S de 1,5 a 3 g kg<sup>-1</sup>. O fato da concentração de N aos 18 meses ter ficado pouco abaixo da faixa adequada, pode ter ocorrido em função da avaliação nutricional, nessa época, ter sido realizada no período seco (julho). Nesse sentido,

Assis, Ferreira e Cargnelutti Filho (2006) constataram que as concentrações dos nutrientes nas folhas de plantas de *Eucalyptus urophylla* variam com a época de amostragem, sendo os menores teores obtidos no período seco, para os nutrientes N, K e P.

**Tabela 8** - Concentrações de macronutrientes aos 12, 18 e 24 meses de idade do eucalipto, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2013/14.

Idade	Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	g kg <sup>-1</sup>					
		N	P	K	Ca	Mg	S
12 meses	0	23,4 <sup>ns</sup>	1,6 <sup>ns</sup>	10,0 <sup>ns</sup>	6,3 <sup>ns</sup>	3,0 <sup>ns</sup>	1,4 <sup>ns</sup>
	48	21,4	1,6	11,0	6,2	3,0	1,3
	69	22,4	1,4	11,0	5,2	2,5	1,4
	90	20,7	1,4	10,0	6,6	2,9	1,3
	C.V. (%)		9,88	10,93	7,78	4,95	10,48
18 meses	0	16,0 <sup>ns</sup>	1,2 <sup>ns</sup>	7,3 <sup>ns</sup>	7,1 <sup>*</sup>	2,2 <sup>ns</sup>	1,4 <sup>ns</sup>
	70	16,0	1,2	6,7	6,8	2,0	1,5
	105	15,2	1,2	7,3	6,4	1,9	1,4
	140	16,2	1,1	7,3	5,6	2,1	1,4
	C.V. (%)		5,86	7,29	13,95	10,34	12,26
24 meses	0	18,4 <sup>ns</sup>	1,0 <sup>ns</sup>	6,0 <sup>ns</sup>	7,0 <sup>ns</sup>	1,9 <sup>ns</sup>	1,7 <sup>ns</sup>
	70	18,4	1,1	6,0	6,3	1,7	1,7
	105	18,8	1,1	6,0	6,6	1,8	1,6
	140	17,6	1,0	8,7	6,0	1,7	2,0
	C.V. (%)		2,67	6,76	8,66	10,45	17,23

ns; \* - não significativo e significativo a 5% pelo teste F.

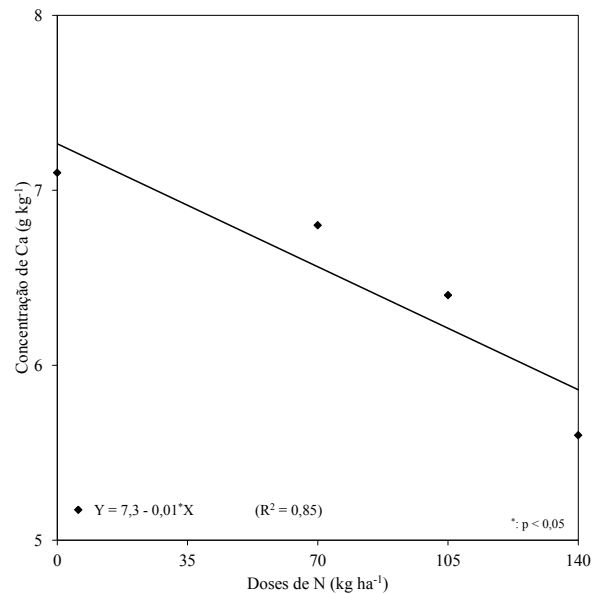
Fonte: Elaboração do próprio autor.

As concentrações de Ca decresceram em função do aumento das doses de N (Figura 5) provavelmente devido ao efeito diluição desse nutriente na folha, uma vez que, com aumento das doses de N houve maior crescimento das plantas em diâmetro e volume. Com relação a esse nutriente, Andrade et al. (2006) verificaram correlação positiva dos teores de Ca e Mg na casca com o volume da árvore, indicando que as de maior volume possuem teores mais elevados desses nutrientes nesse compartimento. Benatti (2013) relatou que o Ca apresentou maior acúmulo nas cascas, apresentando 60,6% do total da planta.

As concentrações foliares dos micronutrientes nas três avaliações não foram influenciadas pelas doses de N (Tabela 9). Dell et al. (2001) propuseram as seguintes faixas consideradas adequadas para o eucalipto na fase inicial de crescimento: B de 15 a 27 mg kg<sup>-1</sup>; Cu de 2 a 11 mg kg<sup>-1</sup>; Zn de 15 a 50 mg kg<sup>-1</sup>; Mn de 60 a 2300 mg kg<sup>-1</sup> e Fe de 25 a 130 mg kg<sup>-1</sup>. De maneira geral, as concentrações dos micronutrientes ficaram bem acima ou dentro da

faixa adequada estabelecida por esses autores. Tal resultados justificam-se pois os teores dos micronutrientes no solo estavam de médio a alto (Tabela 7).

**Figura 5** - Concentrações de Ca nas folhas do eucalipto aos 18 meses de idade, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2013.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

**Tabela 9** - Concentrações de micronutrientes aos 12, 18 e 24 meses de idade do eucalipto, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2013/14.

Idade	Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	B	Cu	Zn	Mn	Fe
		mg kg <sup>-1</sup>				
12 meses	0	99,5 <sup>ns</sup>	39,5 <sup>ns</sup>	22,0 <sup>ns</sup>	1071,5 <sup>ns</sup>	84,5 <sup>ns</sup>
	48	114,0	25,0	17,2	1166,5	94,5
	69	105,3	32,0	21,0	1149,5	91,5
	90	145,1	33,5	21,7	1187,0	139,0
C.V. (%)		18,06	19,22	10,86	9,60	14,82
18 meses	0	82,5 <sup>ns</sup>	23,0 <sup>ns</sup>	6,7 <sup>ns</sup>	1067,3 <sup>ns</sup>	139,3 <sup>ns</sup>
	70	84,4	56,7	14,0	985,0	135,0
	105	81,5	29,7	11,7	958,3	150,0
	140	81,3	24,3	8,7	906,3	139,0
C.V. (%)		13,14	26,21	27,93	12,89	8,48
24 meses	0	114,7 <sup>ns</sup>	7,3 <sup>ns</sup>	10,0 <sup>ns</sup>	1200,3 <sup>ns</sup>	120,0 <sup>ns</sup>
	70	110,1	7,0	11,3	973,7	119,0
	105	112,1	6,3	10,0	1218,7	126,3
	140	107,8	7,1	8,9	1068,3	137,0
C.V. (%)		5,09	25,71	22,15	8,44	7,82

ns - não significativo pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

#### 4.1.4 Relação dos nutrientes nas folhas

As relações de N/Ca (18 meses), N/K e N/S (24 meses) foram influenciadas pela adubação nitrogenada (Tabela 10 e Figura 6 A e B). A relação N/Ca aumentou linearmente com as doses de N (Figura 6 A) provavelmente pelo efeito diluição do Ca na folha, pois com o aumento das doses de N houve diminuição desse nutriente (Figura 5) e maior produção de volume de madeira (Figura 3 A).

**Tabela 10** - Relações dos nutrientes nas folhas do eucalipto aos 12, 18 e 24 meses de idade, em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2013/14.

Idade	Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	N/K	N/P	N/Ca	N/Mg	N/S
12 meses	0	2,34 <sup>ns</sup>	14,25 <sup>ns</sup>	3,72 <sup>ns</sup>	7,70 <sup>ns</sup>	16,74 <sup>ns</sup>
	48	1,98	13,71	3,53	7,22	15,87
	69	2,06	15,46	4,35	8,95	16,49
	90	2,07	14,95	3,16	7,41	15,69
C.V. (%)		16,45	2,05	14,63	19,60	8,44
18 meses	0	2,31 <sup>ns</sup>	13,37 <sup>ns</sup>	2,27 <sup>*</sup>	7,48 <sup>ns</sup>	11,03 <sup>ns</sup>
	70	2,46	13,23	2,38	7,92	10,69
	105	2,09	12,53	2,41	8,03	10,67
	140	2,23	14,59	2,90	7,90	11,10
C.V. (%)		12,19	7,88	11,96	14,90	8,53
24 meses	0	3,07 <sup>**</sup>	17,52 <sup>ns</sup>	2,64 <sup>ns</sup>	9,96 <sup>ns</sup>	10,97 <sup>*</sup>
	70	3,06	17,24	2,94	11,30	11,12
	105	2,62	17,03	2,88	10,49	11,96
	140	2,06	18,01	2,96	10,40	8,93
C.V. (%)		9,36	7,56	12,14	18,27	7,56

ns; \*, \*\* - não significativo; significativo a 5 e 1% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

A relação N/K decresceu linearmente com incremento das doses de N (Figura 6 B). A maior relação de 3,07 foi verificada na ausência da adubação nitrogenada. Esse resultado demonstrou que a planta provavelmente absorveu mais K do que N, pois a quantidade de K aplicado foi igual para todos os tratamentos (180 kg ha<sup>-1</sup>), e as de nitrogênio crescentes. Não foram encontrados trabalhos que relatassem a relação N/K da cultura do eucalipto em campo avaliando doses de N.

Silveira (2000) avaliou o efeito do potássio nas características da madeira juvenil de quatro progênies de *Eucalyptus grandis* cultivadas em solução nutritiva, e constatou que os aumentos na relação N/K nas folhas reduziram o comprimento e largura das fibras, a

concentração e quantidade de holocelulose. Nesse sentido, a diminuição da relação N/K poderia aumentar a concentração e quantidade de holocelulose.

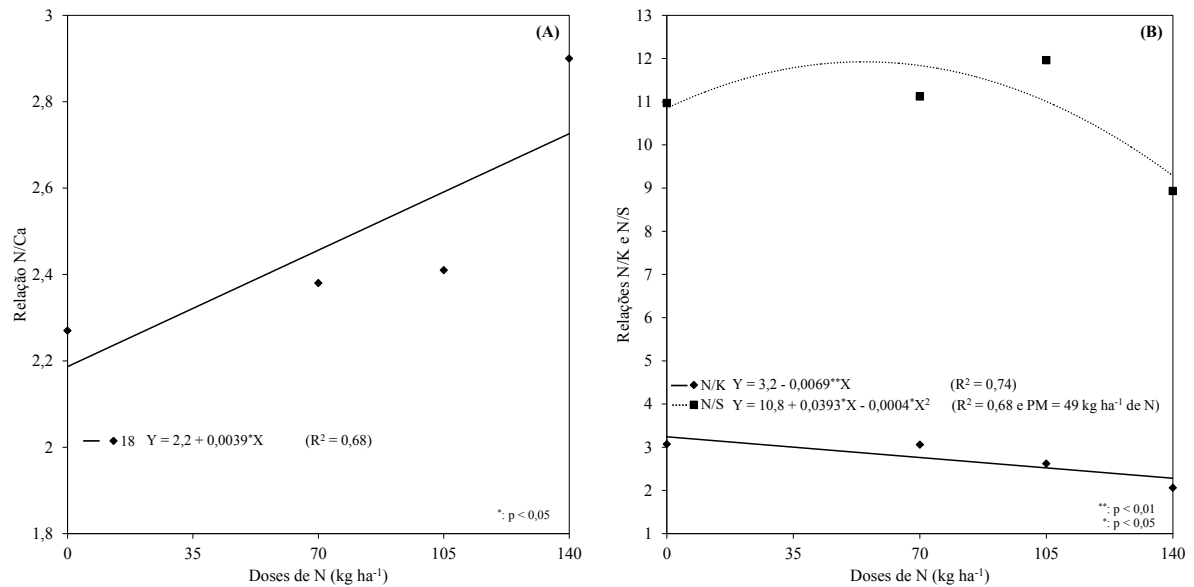
Trugilho, Lima e Mendes (1996) relataram que o teor de lignina apresentou correlação negativa com a densidade básica e teor de holocelulose, indicando que, quanto menor for o teor de lignina, maior será o teor de holocelulose e, conseqüentemente, maior será a densidade básica da madeira. Vital, Jesus e Valente (1986) avaliaram o efeito da constituição química e da densidade da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* na produção de carvão vegetal, e constataram que a redução do rendimento gravimétrico está associado ao aumento na densidade da madeira, e essa está ligada ao aumento do teor de holocelulose. Portanto, a redução da relação N/K com incremento das doses de N, provavelmente, aumentaria o teor de holocelulose e densidade da madeira.

De acordo com Santos et al. (2011), valores superiores da densidade básica da madeira são interessantes para produção de carvão vegetal, visto que quando essa se degrada, cerca de 60% de sua massa é perdida, conseqüentemente, quanto maior a sua densidade, maior a massa de carvão vegetal produzido para um determinado volume, além disso, proporciona, de modo geral, carvão com maior resistência mecânica.

Houve efeito quadrático da adubação nitrogenada no aumento da relação N/S (Figura 6 B). A máxima relação foi obtida com aplicação calculada de 49 kg ha<sup>-1</sup> de N (11,8). Malavolta (2006) afirmou que geralmente a adição de enxofre aumenta a concentração de nitrogênio também, no entanto, a relação N/S varia com estágio do crescimento e com a espécie vegetal. Pinheiro (2008) avaliou a adequação do sistema de avaliação da aptidão das terras para plantios de eucalipto, e verificou que a restrição no crescimento do eucalipto devido à deficiência de enxofre no solo tem sido observada quando existe adição de elevadas quantidades de N e P, evidenciando a importância do equilíbrio entre esses elementos.

A forma de enxofre no solo predominantemente absorvidas pelas raízes das plantas da solução do solo é o ânion SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (MALAVOLTA, 1980). Alvarez V. et al. (2007) relataram que a importância do equilíbrio entre as teores de nitrogênio e enxofre no solo e na planta é refletida no crescimento e no estado nutricional da planta. E que a adição de doses mais elevadas de um desses nutrientes pode levar à menor disponibilidade do outro para as plantas. Nesse sentido, com maior fornecimento de N pela adubação, tem-se menor disponibilidade do enxofre para plantas, resultando em maior relação de N/S nas folhas.

**Figura 6** - Relações N/Ca nas folhas do eucalipto aos 18 meses de idade (A) e N/K e N/S aos 24 meses (B), em função de doses de N. Três Lagoas/MS, 2013/14.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

## 4.2 ADUBAÇÃO FOSFATADA

### 4.2.1 Avaliação do crescimento: inventários e biometrias

Houve efeito das doses de P no aumento do DAP, aos 12, 15, 21 e 24 meses de idade. O mesmo foi verificado para o parâmetro altura, em todas as avaliações (Tabela 11).

As doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> influenciaram positivamente o crescimento em DAP bem como em altura, sendo que a maior dose (100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) propiciou incremento na ordem de 13,7; 8,9; 6,6 e 8,0% para o diâmetro (12, 15, 21 e 24 meses, respectivamente) (Figura 7 A) e 13,4; 9,1; 9,1; 5,9 e 8,1% para a altura da planta (12, 15, 18, 21 e 24 meses, respectivamente) quando comparada à ausência de P na adubação (Figura 7 B).

**Tabela 11** - Diâmetro à altura do peito (DAP) e altura média de plantas de eucalipto, aos 12, 15, 18, 21 e 24 meses de idade, em função de doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Três Lagoas/MS, 2013/14.

Doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	DAP (cm) nas idades avaliadas (meses)				
	12	15	18	21	24
0	5,1**	7,9*	8,7 <sup>ns</sup>	9,1*	10,0**
40	5,5	8,2	9,4	9,4	10,5
70	5,6	8,0	8,7	9,4	10,3
100	5,8	8,6	9,4	9,7	10,8
<b>C.V. (%)</b>	5,20	4,69	3,82	3,88	3,48

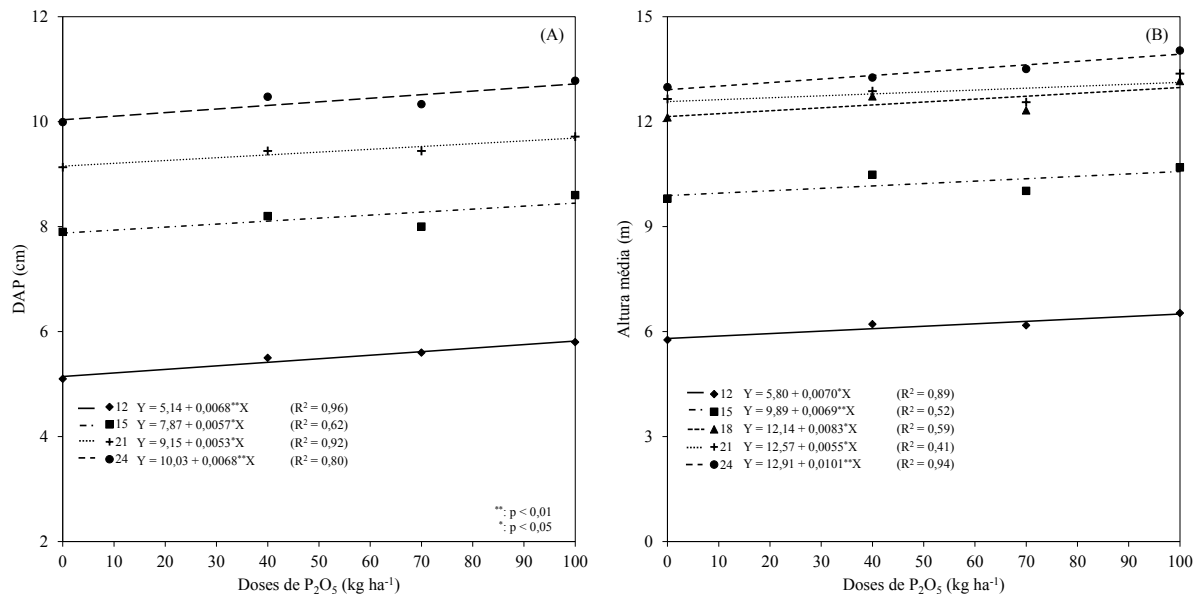
  

Doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	Altura média (m) nas idades avaliadas (meses)				
	12	15	18	21	24
0	5,76*	9,80**	12,12*	12,65*	12,98**
40	6,21	10,48	12,72	12,87	13,25
70	6,18	10,02	12,32	12,56	13,50
100	6,53	10,69	13,16	13,37	14,03
<b>C.V. (%)</b>	8,04	2,72	4,44	2,49	1,93

ns; \*, \*\* - não significativo; significativo a 5 e 1% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

**Figura 7** - Diâmetro à altura do peito (DAP) (A) e altura média de plantas de eucalipto (B), em função de doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Três Lagoas/MS, 2013/14.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

O crescimento em diâmetro e altura influenciado pelas doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> propiciou aumento no volume total de madeira em todas as idades avaliadas (Tabela 12).

As doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> propiciaram aumento linear do volume de madeira com incrementos na ordem de 30,6; 19,8; 17,2; 14,5 e 19,2% (12, 15, 18, 21 e 24 meses, respectivamente), com a maior dose aplicada em relação à omissão do nutriente (Figura 8). Esses resultados indicam



que o crescimento seria ainda maior mediante doses superiores às testadas. No entanto, o maior incremento foi aos 12 meses pós-plantio entre a maior dose e a testemunha. Tal resultado reforça a afirmação de que esse elemento é o mais exigido na fase inicial do crescimento, pois nesse período o nível crítico de P no solo é maior. Stahl (2009) relatou que as espécies de eucaliptos são consideradas exigentes em nutrientes, principalmente em P na fase inicial.

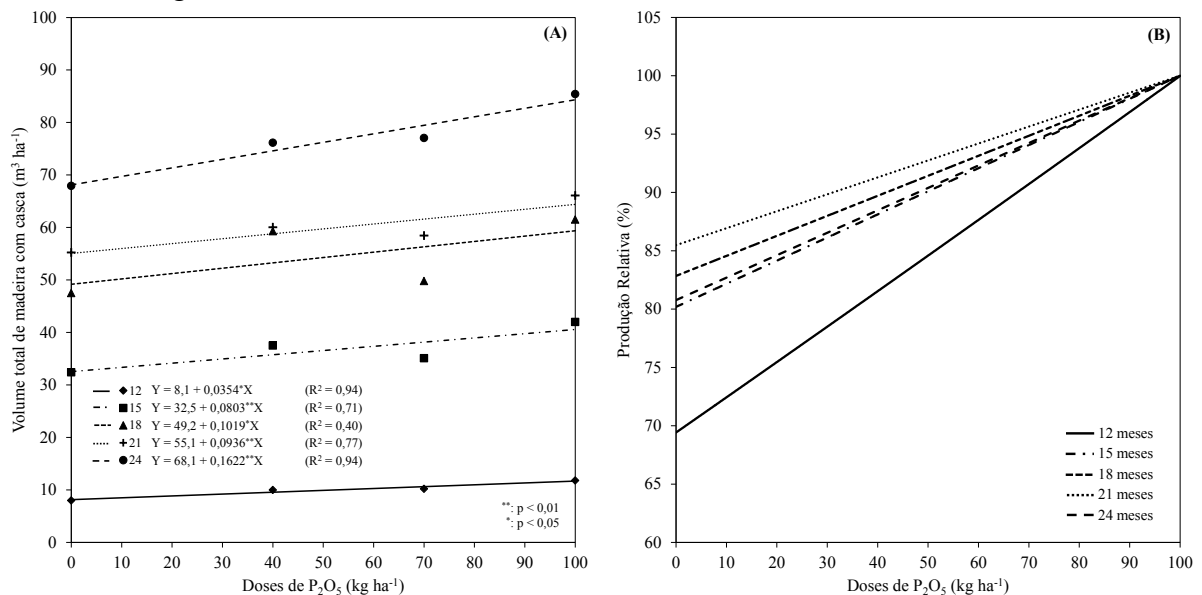
**Tabela 12** - Volume total de madeira com casca (Vt) de plantas de eucalipto, aos 12, 15, 18, 21 e 24 meses de idade, em função de doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Três Lagoas/MS, 2013/14.

Doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	Vt (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) nas idades avaliadas (meses)				
	12	15	18	21	24
0	8,0*	32,4**	47,5*	55,2**	67,9**
40	10,0	37,5	59,3	60,1	76,1
70	10,2	35,1	49,8	58,5	77,1
100	11,8	42,0	61,5	66,1	85,4
C.V. (%)	15,41	10,02	10,15	6,80	7,48

\*; \*\* - significativo a 5 e 1% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

**Figura 8** - Volume total de madeira com casca de plantas de eucalipto aos 12, 15, 18, 21 e 24 meses de idade (A) e produção relativa (B), em função de doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Três Lagoas/MS, 2013/14.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Os valores dos níveis críticos de P no solo na fase de manutenção da cultura (adulta) são menores do que os da implantação (fase inicial), logo a exigência desse nutriente diminui com aumento da idade (NOVAIS; RÊGO; GOMES, 1982; NOVAIS; BARROS; NEVES,

1986). Barros et al. (1981) mencionaram em seu estudo com adubação de NPK, na produção do eucalipto em solo de cerrado, que o P foi o principal fator limitante ao crescimento, e que à medida que o eucalipto se desenvolve, sua capacidade de absorver esse nutriente aumenta, em função do desenvolvimento de seu sistema radicular que explora maior volume de solo.

As respostas positivas à fertilização fosfatada devem-se à baixa disponibilidade de P no solo ( $P_{\text{resina}} = 1 \text{ mg dm}^{-3}$ ). Paula e Lopes (2003) avaliaram, aos seis meses de idade, o crescimento do eucalipto sob doses e fontes  $P_2O_5$  em áreas de cultivo mínimo, onde os teores médios P no solo variaram de baixo a médio, e estimaram que a dose para obtenção do máximo crescimento em altura seria de  $155 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$ . Cipriani et al. (2012) verificaram que a adubação fosfatada no crescimento do eucalipto, independentemente do clone, apresentou correlação significativa e positiva entre as doses de  $P_2O_5$  e altura das plantas, com a dose ótima estimada entre  $108$  a  $128 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$ . Como relatado anteriormente, essas constatações indicam que o crescimento pode ser ainda maior mediante doses superiores às testadas nesse estudo.

#### 4.2.2 Avaliação da fertilidade do solo

Os teores de fósforo na linha de plantio aumentaram linearmente com incremento das doses de  $P_2O_5$  (Tabela 13), independente da profundidade avaliada.

De acordo com os limites de interpretação dos teores dos nutrientes proposto por Raij et al. (1997), os teores de K na entre linha foram superiores ao da linha (baixo e muito baixo, respectivamente), devido a maior quantidade de K aplicada em cobertura na projeção da copa.

De forma geral, os teores de Ca em superfície permaneceram de baixo a médio e foram superiores ao da profundidade de 20 a 40 cm, cujos teores foram baixos. Tal fato deve-se a não incorporação do calcário, pois o mesmo foi aplicado à lanço e não incorporado. Os teores de Mg e S independente do local amostrado e das profundidades ficaram baixos.

A quantidade de  $P_2O_5$  necessária para atingir teor muito alto de P ( $> 16 \text{ mg dm}^{-3}$ ) está entre  $83 - 95 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$  e para teor alto ( $9-16 \text{ mg dm}^{-3}$ ) entre  $31 - 39 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$ . Enquanto que os teores de P na entre linha foram considerados como muito baixo a baixo (Figura 9).

**Tabela 13** - Teores de macronutrientes na linha e entre linha das plantas, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, em função de doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Três Lagoas/MS, 2014.

		<b>Linha</b>				
<b>Prof. (cm)</b>	<b>Doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (kg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>P</b>	<b>S-SO<sub>4</sub></b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>
		<b>mg dm<sup>-3</sup></b>		<b>mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup></b>		
<b>0-20</b>	<b>0</b>	3,0**	2,7 <sup>ns</sup>	0,5 <sup>ns</sup>	2,3 <sup>ns</sup>	1,7 <sup>ns</sup>
	<b>40</b>	13,0	2,3	0,6	2,7	1,0
	<b>70</b>	12,7	1,7	0,7	3,7	2,0
	<b>100</b>	16,0	2,0	0,5	3,0	2,0
<b>C.V. (%)</b>		20,52	19,80	18,19	12,78	19,33
<b>20-40</b>	<b>0</b>	2,7*	3,3 <sup>ns</sup>	0,3 <sup>ns</sup>	1,7 <sup>ns</sup>	1,0 <sup>ns</sup>
	<b>40</b>	15,7	2,0	0,2	1,7	1,0
	<b>70</b>	14,7	2,3	0,3	1,7	1,0
	<b>100</b>	24,7	2,3	0,3	1,7	1,0
<b>C.V. (%)</b>		29,63	11,55	24,44	20,95	4,34
<b>Entre Linha (Projeção da Copa)</b>						
<b>0-20</b>	<b>0</b>	3,7 <sup>ns</sup>	2,7 <sup>ns</sup>	0,8 <sup>ns</sup>	3,0 <sup>ns</sup>	1,7 <sup>ns</sup>
	<b>40</b>	3,6	2,7	0,9	3,0	1,3
	<b>70</b>	2,7	2,7	1,5	2,7	1,3
	<b>100</b>	5,0	2,6	1,0	3,3	1,7
<b>C.V. (%)</b>		23,72	11,28	25,49	15,45	20,62
<b>20-40</b>	<b>0</b>	2,7 <sup>ns</sup>	3,0 <sup>ns</sup>	1,0 <sup>ns</sup>	3,3 <sup>ns</sup>	2,0 <sup>ns</sup>
	<b>40</b>	2,7	6,0	0,8	2,0	1,0
	<b>70</b>	1,7	4,7	1,3	1,3	1,0
	<b>100</b>	2,7	6,0	0,8	2,0	1,0
<b>C.V. (%)</b>		20,24	15,47	25,09	18,75	26,65

ns; \*, \*\* - não significativo; significativo a 5 e 1% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

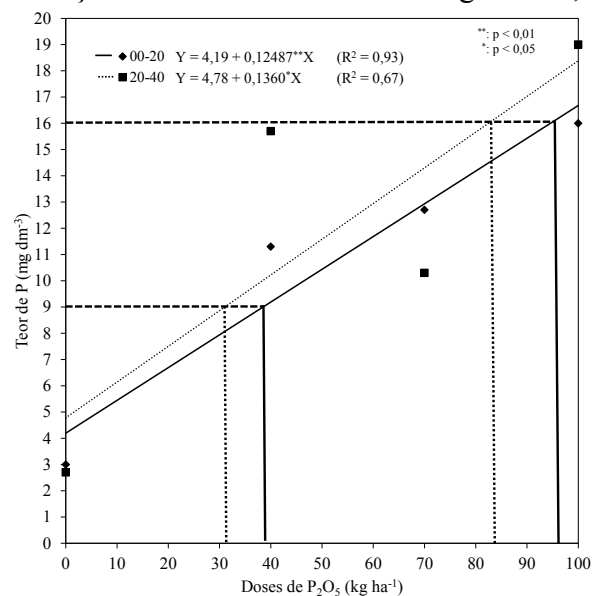
Silveira e Gava (2004) relataram que o P disponível pelo método resina, considerando vários tipos de solo, não é suficiente para atender à demanda total média do nutriente pelo *Eucalyptus* com idade de 7 anos aproximadamente, sendo esse de 9,8 kg ha<sup>-1</sup> nos primeiros 20 cm. Considerando a maior dose utilizada nesta pesquisa, o teor de P disponível na camada arável do solo seria de 32,0 kg ha<sup>-1</sup>, valor superior ao dos autores citados. Portanto, tal valor seria suficiente para atender a demanda da cultura até o final do seu ciclo (6 a 7 anos).

Leite et al. (2009) avaliaram níveis críticos de fósforo, para eucalipto, em casa de vegetação, em função da sua localização no solo (parte central e superior da amostra do vaso “cova” ou solo circundante “solo externo”), e concluíram que a localização da maior quantidade de P aplicada no solo da “cova” aumenta a eficiência de utilização do P adicionado, pois tal prática de localizar fertilizantes fosfatados solúveis em parte do volume

de solo cultivado, pode reduzir a fixação do P e otimizar a sua absorção pelas plantas. No presente trabalho a aplicação foi realizada no sulco de plantio, podendo aumentar a eficiência da adubação fosfatada.

As maiores correlações entre volume de madeira e teor de P no solo, foram constatadas na linha de plantio na camada 20-40 cm ( $r = 0,99^{**}$ ) e de 0-20 cm ( $r = 0,94^{**}$ ), não se correlacionando com teores nas entre linhas. Com base nesta constatação, seria recomendada amostragem do solo na linha de plantio, para possíveis recomendações de P para cultivos de segunda rotação do eucalipto.

**Figura 9** - Teores de P no solo na linha de plantio do eucalipto, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, em função de doses de  $P_2O_5$ . Três Lagoas/MS, 2014.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Os teores de Mn e Fe em todas as avaliações foram classificados como altos ( $> 5,0$  mg  $dm^{-3}$  de Mn e  $> 12$  mg  $dm^{-3}$  de Fe) (Tabela 14). Os valores de Cu e Zn foram altos na linha em superfície ( $> 0,8$  mg  $dm^{-3}$  de Cu e  $> 1,2$  mg  $dm^{-3}$  de Zn), devido a aplicação desses dois nutrientes na linha de plantio no início do experimento, em todos tratamentos. Na linha, na camada de 20-40 cm e na entre linha (0-20 e 20-40 cm), os teores para Cu foram médios (0,3-0,8 mg  $dm^{-3}$  de Cu). Os de Zn baixos na entre linha (0,0-0,5 mg  $dm^{-3}$  de Zn) e médio na linha (20-40 cm).

Os teores B ficaram altos ( $> 0,60$  mg  $dm^{-3}$  de B) nas duas profundidades da entre linha; em contrapartida na linha os teores foram médios (0,21-0,60 mg  $dm^{-3}$  de B). Essa

diferença está ligada ao modo de aplicação desse nutriente, uma vez que foi aplicado 1 kg ha<sup>-1</sup> de B no sulco de plantio e 2 kg ha<sup>-1</sup> de B parcelados em duas aplicações de cobertura (nove e quatorze meses após o plantio), sendo esses aplicados na entre linha (projeção da copa).

Os teores de manganês na linha (0-20 cm) decresceram com incremento das doses de P (Tabela 14).

**Tabela 14** - Teores de micronutrientes na linha e na entre linha das plantas de eucalipto, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, em função de doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Três Lagoas/MS, 2014.

		<b>Linha</b>				
<b>Prof. (cm)</b>	<b>Doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (kg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>B</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>
		<b>mg dm<sup>-3</sup></b>				
<b>0-20</b>	<b>0</b>	0,42 <sup>ns</sup>	1,30 <sup>ns</sup>	1,87 <sup>ns</sup>	14,47 <sup>*</sup>	32,33 <sup>ns</sup>
	<b>40</b>	0,39	2,47	1,70	10,47	28,67
	<b>70</b>	0,42	8,10	3,00	8,57	27,33
	<b>100</b>	0,54	3,40	1,47	7,20	33,00
<b>C.V. (%)</b>		23,09	35,96	26,89	15,81	25,64
<b>20-40</b>	<b>0</b>	0,36 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>ns</sup>	1,13 <sup>ns</sup>	5,10 <sup>ns</sup>	20,00 <sup>ns</sup>
	<b>40</b>	0,51	0,47	0,87	5,17	22,67
	<b>70</b>	0,52	0,70	1,73	4,90	21,33
	<b>100</b>	0,49	0,43	0,83	4,30	26,00
<b>C.V. (%)</b>		7,70	10,43	17,39	12,34	17,98
		<b>Entre Linha (Projeção da Copa)</b>				
<b>0-20</b>	<b>0</b>	0,74 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	11,83 <sup>ns</sup>	43,67 <sup>ns</sup>
	<b>40</b>	1,03	0,37	0,27	12,57	39,33
	<b>70</b>	0,76	0,37	0,20	9,73	37,67
	<b>100</b>	1,04	0,37	0,30	10,90	44,67
<b>C.V. (%)</b>		27,26	29,05	9,30	25,15	28,77
<b>20-40</b>	<b>0</b>	1,02 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	8,53 <sup>ns</sup>	28,00 <sup>ns</sup>
	<b>40</b>	1,56	0,37	0,17	8,33	27,33
	<b>70</b>	1,06	0,37	0,10	7,63	23,33
	<b>100</b>	1,38	0,40	0,13	7,40	32,00
<b>C.V. (%)</b>		15,34	15,40	33,28	24,09	24,30

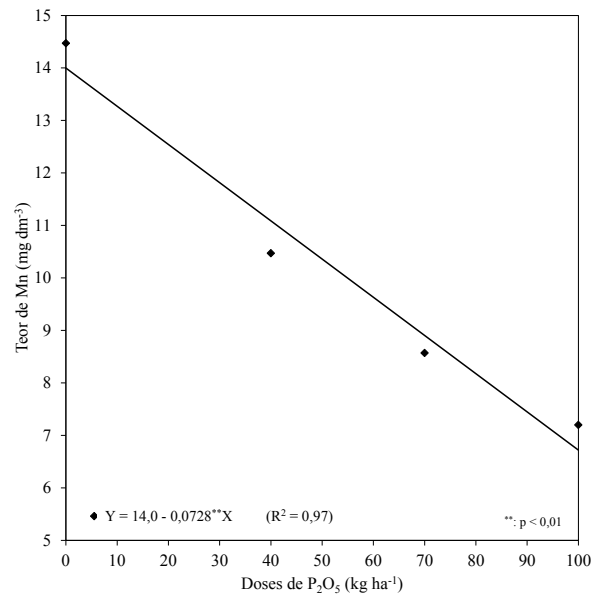
ns; \*, - não significativo; significativo a 5% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

A maior dose de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> propiciou redução de 50% dos teores de Mn na linha (0-20 cm), sendo que os teores de P e Mn apresentaram correlação negativa ( $r = -0,96^{**}$ ), evidenciando que o aumento dos teores de P no solo propiciou a diminuição das Mn, o que caracteriza efeito de inibição não competitiva na relação P x Mn. O Mn é o micronutriente mais extraído pela cultura do eucalipto. De maneira geral, a ordem acumulada nas partes das plantas das

progênies de *Eucalyptus grandis* verificada por Silveira (2000) foi  $Mn > Fe > Zn = B > Cu$ , sendo que cerca de 80% do conteúdo total nas folhas, era composto principalmente pelo Mn. Benatti (2013) constatou a seguinte ordem:  $Mn > Fe > Zn > Cu$ , em clones de eucalipto, aos seis anos e meio de idade.

**Figura 10** - Teores de Mn na linha de plantio do eucalipto, na profundidade de 20-40 cm, em função de doses de  $P_2O_5$ . Três Lagoas/MS, 2014.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

#### 4.2.3 Concentrações dos nutrientes nas folhas

As concentrações de K, Ca e Mg nas folhas do eucalipto em todas avaliações estiveram dentro das faixas consideradas adequadas por Dell et al. (2001) para a fase inicial de crescimento, com exceção do N que esteve um pouco abaixo aos 18 e 24 meses após o plantio (Tabela 15). Esses autores propõem as seguintes faixas: N de 18 a 30  $g\ kg^{-1}$ ; P de 1 a 3  $g\ kg^{-1}$ ; K de 6 a 18  $g\ kg^{-1}$ ; Ca de 3 a 8  $g\ kg^{-1}$ ; Mg de 1 a 3  $g\ kg^{-1}$  e S de 1,5 a 3  $g\ kg^{-1}$ . A concentração de N um pouco abaixo da faixa adequada verificada aos 18 meses deve-se ao fato de que essa avaliação nutricional foi realizada no período seco (julho) como verificado por Assis, Ferreira e Cargnelutti Filho (2006) que constataram que as concentrações dos nutrientes nas folhas de plantas de *Eucalyptus urophylla* variam com a época de amostragem, sendo os menores teores encontrados no período seco, para os nutrientes N, K e P. Nesse estudo foi verificado tal fato somente para as concentrações de N. As concentrações de S de forma geral estiveram dentro da faixa tida como adequada.

**Tabela 15** - Concentrações de macronutrientes aos 12, 18 e 24 meses de idade do eucalipto, em função de doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Três Lagoas/MS, 2013/14.

Idade	Doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	N	P	K	Ca	Mg	S
		g kg <sup>-1</sup>					
12 meses	0	22,7 <sup>ns</sup>	1,6 <sup>ns</sup>	12,0 <sup>ns</sup>	5,3 <sup>ns</sup>	2,8 <sup>ns</sup>	1,3 <sup>ns</sup>
	40	25,6	1,8	10,0	6,3	2,8	1,5
	70	23,4	1,6	10,0	5,4	2,5	1,4
	100	19,7	1,4	11,0	7,5	2,9	1,3
C.V. (%)		9,88	17,38	6,58	14,22	12,05	10,84
18 meses	0	17,5 <sup>ns</sup>	1,2 <sup>ns</sup>	7,3 <sup>ns</sup>	6,2 <sup>ns</sup>	2,2 <sup>ns</sup>	1,5 <sup>ns</sup>
	40	15,5	1,1	6,6	6,5	1,9	1,4
	70	16,2	1,1	7,3	5,6	2,1	1,4
	100	17,5	1,3	7,3	6,8	2,1	1,5
C.V. (%)		7,25	7,76	13,95	11,72	9,92	6,61
24 meses	0	17,5 <sup>**</sup>	0,9 <sup>**</sup>	6,0 <sup>ns</sup>	6,9 <sup>ns</sup>	1,7 <sup>ns</sup>	1,7 <sup>ns</sup>
	40	18,0	1,0	6,0	7,1	1,6	1,6
	70	17,6	1,0	8,7	6,0	1,7	2,0
	100	18,6	1,1	6,0	6,1	1,9	1,6
C.V. (%)		1,13	4,18	8,66	10,33	12,11	8,37

ns; \*\* - não significativo; significativo a 1% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

As concentrações de N e P aos 24 meses aumentaram em função do incremento de doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Figuras 11 A e B). A omissão da fertilização fosfatada resultou em concentrações de N e P abaixo do considerado adequado por Dell et al. (2001).

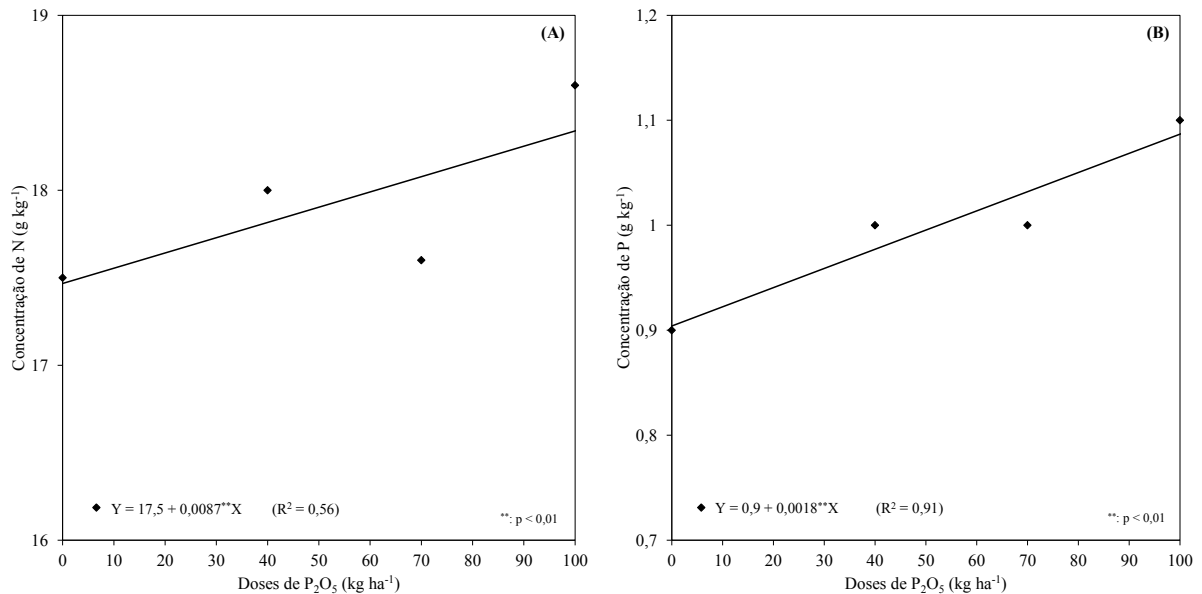
As concentrações de P aos 24 meses apresentaram correlação positiva com os teores de fósforo na linha e na camada de 20-40 cm ( $r = 0,99^{**}$ ) e de 0-20 cm ( $r = 0,94^{**}$ ), e também com o volume de madeira ( $r = 0,99^{**}$ ). Tal resultado evidencia que o aumento dos teores de P no solo, resultam em maiores concentrações de P na folha e aumento da produção de madeira.

As concentrações de B e Fe nas folhas do eucalipto ficaram acima da faixa considerada “adequada” por Dell et al. (2001) para a fase inicial de crescimento (Tabela 16). Esses autores propõem para essa fase as seguintes faixas para os micronutrientes: B de 15 a 27 mg kg<sup>-1</sup>; Cu de 2 a 11 mg kg<sup>-1</sup>; Zn de 15 a 50 mg kg<sup>-1</sup>; Mn de 60 a 2300 mg kg<sup>-1</sup> e Fe de 25 a 130 mg kg<sup>-1</sup>. A de Mn ficou dentro dessa faixa estabelecida por esses autores. As concentrações de Zn ficaram abaixo dessa faixa nas avaliações de 18 e 24 meses; de Cu ficou acima aos 12 e 18 meses e dentro da faixa na avaliação subsequente.

A elevada concentração de B deve-se à aplicação de 3 kg ha<sup>-1</sup> de B utilizados no plantio e em cobertura. As maiores concentrações de Zn aos 12 e de Cu aos 12 e 18 meses

estão associadas à aplicação de sulfato de zinco (1 kg ha<sup>-1</sup> de Zn) e sulfato de cobre (1 kg ha<sup>-1</sup> de Cu) apenas no plantio.

**Figura 11** - Concentrações de N e P aos 24 meses de idade do eucalipto, em função de doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Três Lagoas/MS, 2013/14.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

**Tabela 16** - Concentrações de micronutrientes aos 12, 18 e 24 meses de idade do eucalipto, em função de doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Três Lagoas/MS, 2013/14.

Idade	Doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	B	Cu	Zn	Mn	Fe
		mg kg <sup>-1</sup>				
12 meses	0	109,7 <sup>ns</sup>	34,0 <sup>ns</sup>	20,9 <sup>ns</sup>	1003,0 <sup>ns</sup>	94,0 <sup>ns</sup>
	40	83,4	35,0	21,6	1201,5	92,5
	70	76,5	27,5	19,4	1133,0	84,5
	100	156,3	26,5	17,8	1262,5	91,0
C.V. (%)		11,98	17,51	12,28	13,06	3,64
18 meses	0	78,0 <sup>ns</sup>	42,3 <sup>ns</sup>	14,0 <sup>ns</sup>	998,3 <sup>ns</sup>	148,3 <sup>ns</sup>
	40	79,4	44,0	9,7	878,7	137,3
	70	81,3	24,3	8,7	906,3	139,0
	100	80,7	31,7	6,0	912,3	147,0
C.V. (%)		13,97	34,26	26,60	8,76	7,92
24 meses	0	89,6 <sup>ns</sup>	6,0 <sup>ns</sup>	9,0 <sup>ns</sup>	1195,7 <sup>ns</sup>	106,0 <sup>ns</sup>
	40	106,4	7,0	8,3	1070,0	122,7
	70	107,8	7,1	8,9	1068,3	137,0
	100	106,8	7,0	9,7	950,0	117,7
C.V. (%)		11,78	13,41	9,70	15,31	4,07

ns - não significativo pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.



#### 4.2.4 Relação dos nutrientes nas folhas

As relações de P/Ca (24 meses), P/Mg (12 meses) e P/S (18 meses) foram influenciadas pela adubação fosfatada (Tabela 17 e Figura 12 A e B). A relação P/Ca aumentou linearmente com o incremento das doses de fósforo (Figura 12 A), esse aumentou as concentrações de P na folha (Figura 11 B), e não alterou as de Ca, o que justifica o aumento da relação P/Ca.

Houve ajuste à função quadrática para relações de P/Mg e P/S (Figura 12 A e B). A máxima relação de P/Mg (0,67) foi estimada com aplicação de 47 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Para P/S verificou-se a mínima relação de 0,65 com aplicação de 43 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

De acordo com Alvarez V. et al. (2007), a adição conjunta de fósforo e enxofre apresenta resposta positiva no desenvolvimento e crescimento das culturas. E que na ausência de S, as respostas são muito baixas ou mesmo não há resposta à adição de P. Pinheiro (2008) avaliou a adequação do sistema de avaliação da aptidão das terras para plantios de eucalipto, e verificou que a restrição no crescimento do eucalipto devido à deficiência de enxofre no solo tem sido observada quando existe adição de elevadas quantidades de N e P, evidenciando a importância do equilíbrio entre esses elementos. Bellote et al. (1980) constataram a seguinte ordem de extração e exportação do *Eucalyptus grandis* Ca > N > K > S > Mg > P. Sendo assim, a demanda por S é maior em relação ao P.

Os teores de S no solo foram baixos (Tabela 13), mesmo com a aplicação de gesso (500 kg ha<sup>-1</sup>). Raij (2011) relatou que em muitos casos, o ânion SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> não fica retido no solo, sendo esse facilmente lixiviado, e em condições que predominam óxidos Fe e Al no solo, pode haver a adsorção deste ânion no subsolo. No presente trabalho, são propícias as condições para ocorrências desses efeitos, pois trata-se de um solo com textura arenosa, o que resulta em maior lixiviação, além de apresentar grande quantidade desses óxidos.

Uma forma de aumentar os teores de S seria a utilização de fertilizantes fosfatados que contenham enxofre em sua composição, como o superfosfato simples. Prochnow, Alcarde e Chien (2004), mencionam a capacidade do fertilizante de eliminar ou minimizar outros efeitos limitantes, tem-se, por exemplo, que a utilização do superfosfato simples poderá ser uma fonte mais eficiente que o superfosfato triplo em solos com deficiência de enxofre.

As concentrações de S na folha, de forma geral, estiveram dentro da faixa tida como “adequada” (Tabela 15), no entanto estiveram muito próximo do limite inferior desta faixa (1,5 a 3 g kg<sup>-1</sup> de S).

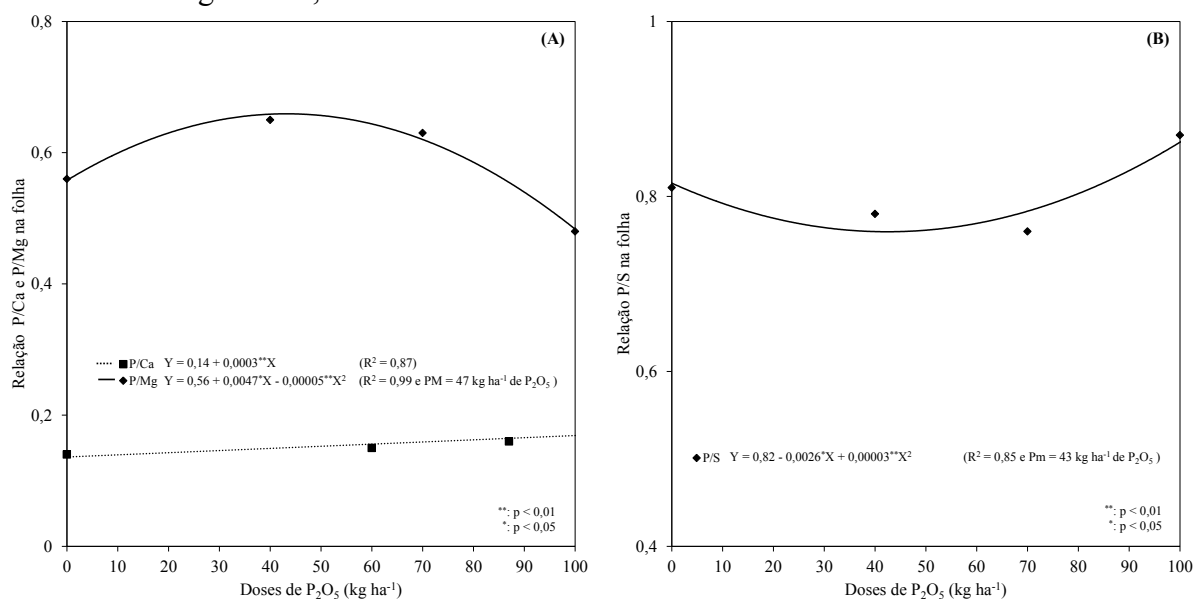
**Tabela 17** - Relações dos nutrientes nas folhas do eucalipto aos 12, 18 e 24 meses de idade, em função de doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Três Lagoas/MS, 2013/14.

Idade	Doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	P/N	P/K	P/Ca	P/Mg	P/S
12 meses	0	0,07 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,30 <sup>ns</sup>	0,56 <sup>**</sup>	1,19 <sup>ns</sup>
	40	0,07	0,18	0,31	0,65	1,21
	70	0,06	0,15	0,29	0,63	1,15
	100	0,07	0,12	0,19	0,48	1,09
C.V. (%)		9,85	16,10	25,11	5,03	11,51
18 meses	0	0,07 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>	0,56 <sup>ns</sup>	0,81 <sup>*</sup>
	40	0,07	0,17	0,17	0,59	0,78
	70	0,07	0,15	0,20	0,54	0,76
	100	0,07	0,18	0,19	0,61	0,87
C.V. (%)		7,06	16,62	11,91	13,31	5,73
24 meses	0	0,05 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>**</sup>	0,56 <sup>ns</sup>	0,59 <sup>ns</sup>
	40	0,06	0,17	0,15	0,63	0,66
	70	0,06	0,11	0,16	0,58	0,50
	100	0,06	0,19	0,18	0,61	0,71
C.V. (%)		6,58	5,83	11,34	13,18	12,24

ns, \*, \*\* - não significativo; significativo a 5 e 1% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

**Figura 12** - Relações de P/Ca e P/Mg nas folhas do eucalipto (A) aos 24 e 12 meses de idade respectivamente, P/S aos 18 meses (B), em função de doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Três Lagoas/MS, 2013/14.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

### 4.3 ADUBAÇÃO POTÁSSICA

#### 4.3.1 Avaliação do crescimento: inventários e biometrias

O DAP e a altura foram influenciados pelas doses de potássio (Tabela 18). Somente aos 15 e 21 meses não se verificou ajuste para o DAP. Para a altura de plantas, em todas as épocas avaliadas houve ajustes significativos.

**Tabela 18** - Diâmetro à altura do peito (DAP) e altura média de plantas de eucalipto, aos 12, 15, 18, 21 e 24 meses de idade, em função de doses de K<sub>2</sub>O. Três Lagoas/MS, 2013/14.

<b>DAP (cm) nas idades avaliadas (meses)</b>						
<b>Doses de K<sub>2</sub>O (kg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>12</b>	<b>Doses de K<sub>2</sub>O (kg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>15</b>	<b>18</b>	<b>21</b>	<b>24</b>
<b>0</b>	5,2 <sup>**</sup>	<b>0</b>	7,8 <sup>ns</sup>	8,3 <sup>**</sup>	9,1 <sup>ns</sup>	9,6 <sup>*</sup>
<b>60</b>	5,3	<b>90</b>	7,9	9,0	9,4	10,2
<b>87</b>	5,6	<b>135</b>	8,2	9,0	9,9	10,7
<b>114</b>	5,6	<b>180</b>	7,8	8,2	9,4	10,3
<b>C.V. (%)</b>	4,76		5,70	5,90	4,00	5,47
<b>Altura média (m) nas idades avaliadas (meses)</b>						
<b>0</b>	5,64 <sup>*</sup>	<b>0</b>	9,29 <sup>*</sup>	11,45 <sup>**</sup>	11,53 <sup>**</sup>	12,42 <sup>*</sup>
<b>60</b>	5,99	<b>90</b>	10,16	12,57	12,70	13,14
<b>87</b>	6,46	<b>135</b>	10,26	12,56	12,82	13,72
<b>114</b>	6,18	<b>180</b>	10,02	11,94	12,56	13,50
<b>C.V. (%)</b>	6,54		4,41	3,77	3,35	1,69

ns; \*, \*\* - não significativo; significativo a 5 e 1% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

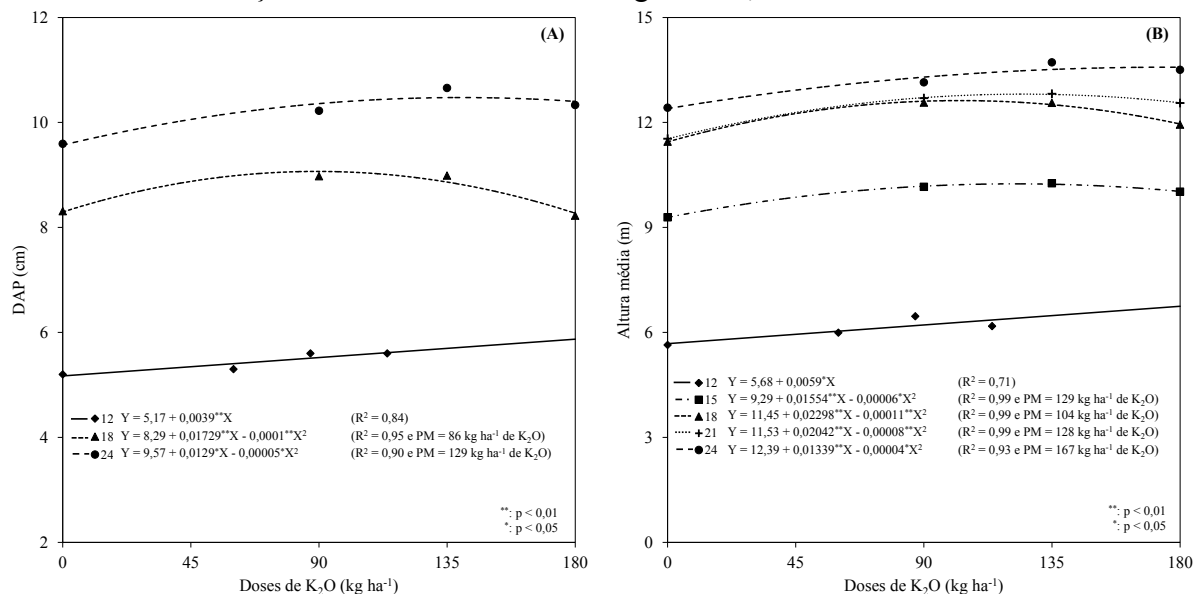
Na primeira avaliação, os valores do DAP ajustaram-se à função linear com máximo obtido com aplicação da maior dose (114 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O). Aos 18 e 24 meses, os valores ajustaram-se à função quadrática, sendo o máximo diâmetro estimados de 9,0 e 10,4 cm, obtido, com a aplicação de 86 e 129 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (Figura 13 A).

Ressalta-se que até a primeira avaliação havia sido realizado o segundo parcelamento de K<sub>2</sub>O (nove meses), com total acumulado das doses aplicadas de 0, 60, 87 e 114 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e, aos 14 meses, foi efetuado, terceiro parcelamento de K<sub>2</sub>O com total acumulado das doses aplicadas de 0, 90, 135 e 180 kg ha<sup>-1</sup>.

Costa e Tonini (2011) avaliaram a aplicação de doses de K<sub>2</sub>O em *Eucalyptus camaldulensis* em solo com baixo teor de K, e constataram, aos 16 meses após o plantio,

resposta linear para o DAP, que atingiu o valor máximo com a dose de 200 kg ha<sup>-1</sup> de K (240 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O). Em condições de baixo teor de K, Almeida (2009) também verificou que as plantas de *Eucalyptus grandis*, aos 12 meses de idade, ficaram 54% mais grossas com a aplicação de 140 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, em relação à testemunha.

**Figura 13** - Diâmetro à altura do peito (DAP) (A) e altura média de plantas (B) do eucalipto, em função de doses de K<sub>2</sub>O. Três Lagoas/MS, 2013/14.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

A fertilização potássica também influenciou a altura das plantas sendo constatado, aos 12 meses, ajuste linear em função das doses de K<sub>2</sub>O, com incremento máximo de 11,8% obtido com aplicação da maior dose de 114 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, em relação à testemunha. Para as avaliações subsequentes, os resultados ajustaram-se à função quadrática, sendo o máximo de altura estimadas com aplicação de 129, 104, 128 e 167 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (15, 18, 21 e 24 meses de idade, respectivamente) (Figura 13 B). Almeida (2009) constatou aos 12 meses de idade do *Eucalyptus grandis*, que a aplicação de 140 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O resultou em plantas 38% mais altas em relação à testemunha.

O crescimento em diâmetro e altura em função das doses de K<sub>2</sub>O refletiram em aumento de volume de madeira com casca (Tabela 19).

Aos 12 meses, os valores ajustaram-se à função linear, com incrementos de 30,0% com as doses de 114 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O em relação à testemunha. Nas avaliações subsequentes houve ajustes quadráticos, sendo que a máxima produtividade de madeira foi obtida com a

estimativa de aplicação de 94, 125 e 151 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, propiciando 55,0; 62,4 e 78,0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 14 A).

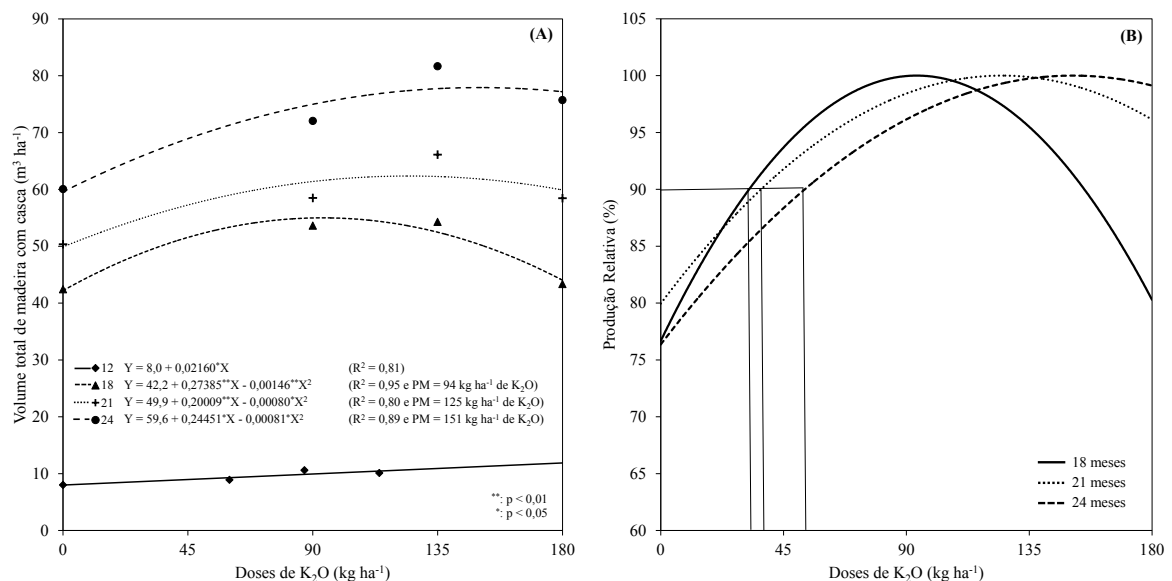
**Tabela 19** - Volume total de madeira com casca (Vt) de plantas de eucalipto, aos 12, 15, 18, 21 e 24 meses de idade, em função de doses de K<sub>2</sub>O. Três Lagoas/MS, 2013/14.

Vt (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) nas idades avaliadas (meses)						
Doses de K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> )	12	Doses de K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> )	15	18	21	24
0	8,0**	0	30,0 <sup>ns</sup>	42,4**	50,4**	60,1*
60	8,9	90	33,7	53,6	58,5	72,0
87	10,6	135	36,3	54,3	66,1	81,7
114	10,1	180	33,1	43,4	58,5	75,7
C.V. (%)	12,37		10,90	13,27	8,79	10,83

ns; \*, \*\* - não significativo; significativo a 5 e 1% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

**Figura 14** - Volume total de madeira com casca de plantas de eucalipto (A) e produção relativa do eucalipto (B), em função de doses de K<sub>2</sub>O. Três Lagoas/MS, 2013/14.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Para obtenção de 90% da produção máxima, as doses foram de 32, 37 e 52 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (Figura 14 B). A resposta obtida aos 24 meses com a dose mais elevada em relação às avaliações anteriores está associada à maior requisição desse nutriente durante o ciclo da cultura; que de acordo com Barros, Novais e Neves (1990), o nível crítico de K no solo aumenta com a idade da cultura.

A resposta da cultura à adubação potássica era esperada, uma vez que o solo apresentava baixo teor de K. Nas condições de teores mais elevados no solo, as respostas do *Eucalyptus* à aplicação desse nutriente não têm sido tão consistentes, tendo respondido apenas em solos cujos teores que não ultrapassem  $1,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  (SILVEIRA e MALAVOLTA, 2000). Com base na recomendação desses autores, a quantidade a ser aplicada conforme o teor de K trocável no solo seria de 120 a  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ . Outra recomendação propõe para a mesma condição baixo de teor de K no solo de textura arenosa, a aplicação de  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  (GONÇALVES; RAIJ; GONÇALVES, 1997). Nesse sentido, a recomendação de Silveira e Malavolta (2000) está mais condizente com resultados obtidos nesta pesquisa.

Em estudo realizado em solo de Cerrado, Almeida (2009) concluiu que o *Eucalyptus grandis* responde expressivamente à adubação potássica em índice de área foliar, DAP e altura, podendo dobrar a produtividade em volume de madeira aos 36 meses pós-plantio, e que o fornecimento de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  foi suficiente para atingir 90% da máxima produtividade física nessa idade. Galo (1993) verificou resposta à adubação potássica para o *Eucalyptus grandis*, aos 6,5 anos de idade, em solos do cerrado, cujo teor original de K também era muito baixo ( $0,59 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), sendo que para obter 90% da produção máxima de madeira foi necessária a aplicação de  $108 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ . Os resultados obtidos neste trabalho corroboram com dos autores citados, pois para obtenção de 90% da produção máxima do *Eucalyptus urograndis* aos 24 meses de idade, em solo de Cerrado com baixo teor de potássio ( $0,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), foram necessários  $52 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ , valor esse inferior ao encontrado nos estudos dos autores citados. Tal fato deve-se, provavelmente, a idade de 24 meses após o plantio ser inferior aos desses estudos. No entanto, vale ressaltar que as respostas da cultura às doses de  $\text{K}_2\text{O}$  tendem a aumentar com a idade da cultura, como já relatado anteriormente.

#### 4.3.2 Avaliação da fertilidade do solo

Os teores de K no solo, na linha e na entre linha, nas duas profundidades, foram influenciados pelas doses de  $\text{K}_2\text{O}$ . Foi verificado aumento desses teores em função das doses de  $\text{K}_2\text{O}$ . Na entre linha houve redução dos teores de P, nas duas profundidades, em função do aumento das doses de  $\text{K}_2\text{O}$  (Tabela 20).

De acordo com os limites de interpretação dos teores dos nutrientes proposto por Raij et al. (1997), de forma geral, os teores de P estavam muito altos na linha ( $> 16 \text{ mg dm}^{-3}$  de P, para espécies florestais) e baixos na entre linha ( $3\text{-}5 \text{ mg dm}^{-3}$  de P, para espécies florestais). Tal diferença está relacionada ao modo de aplicação do fertilizante fosfatado e a baixa mobilidade do nutriente no solo (aplicado no sulco de plantio).

**Tabela 20** - Teores de macronutrientes na linha e na entre linha das plantas de eucalipto, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, em função de doses de  $\text{K}_2\text{O}$ . Três Lagoas/MS, 2014.

Prof. (cm)	Doses de $\text{K}_2\text{O}$ ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	Linha				
		P	S- $\text{SO}_4$	K	Ca	Mg
		$\text{mg dm}^{-3}$		$\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$		
0-20	0	14,7 <sup>ns</sup>	2,0 <sup>ns</sup>	0,2*	3,7 <sup>ns</sup>	2,0 <sup>ns</sup>
	90	16,0	1,7	0,4	3,3	2,0
	135	22,3	3,3	0,5	3,0	2,0
	180	13,0	1,7	0,7	3,7	2,0
	C.V. (%)	18,32	30,31	17,61	19,37	25,23
20-40	0	20,7 <sup>ns</sup>	2,3 <sup>ns</sup>	0,1*	2,0 <sup>ns</sup>	1,0 <sup>ns</sup>
	90	21,0	3,0	0,2	3,0	1,7
	135	18,0	3,0	0,2	2,0	1,0
	180	14,7	2,3	0,3	1,7	1,0
	C.V. (%)	12,56	20,30	15,08	13,11	19,92
<b>Entre Linha (Projeção da Copa)</b>						
0-20	0	5,0*	1,7 <sup>ns</sup>	0,3*	3,3 <sup>ns</sup>	2,3 <sup>ns</sup>
	90	4,0	2,3	0,7	3,0	2,0
	135	4,0	2,3	1,2	2,7	1,7
	180	2,7	2,7	1,5	2,7	1,3
	C.V. (%)	19,50	15,42	26,93	23,86	21,78
20-40	0	3,0*	3,0 <sup>ns</sup>	0,3*	1,7 <sup>ns</sup>	1,0 <sup>ns</sup>
	90	2,7	4,7	0,6	2,7	1,7
	135	2,7	3,0	1,1	2,0	1,0
	180	1,7	4,7	1,3	1,3	1,0
	C.V. (%)	23,09	17,39	34,35	15,25	19,92

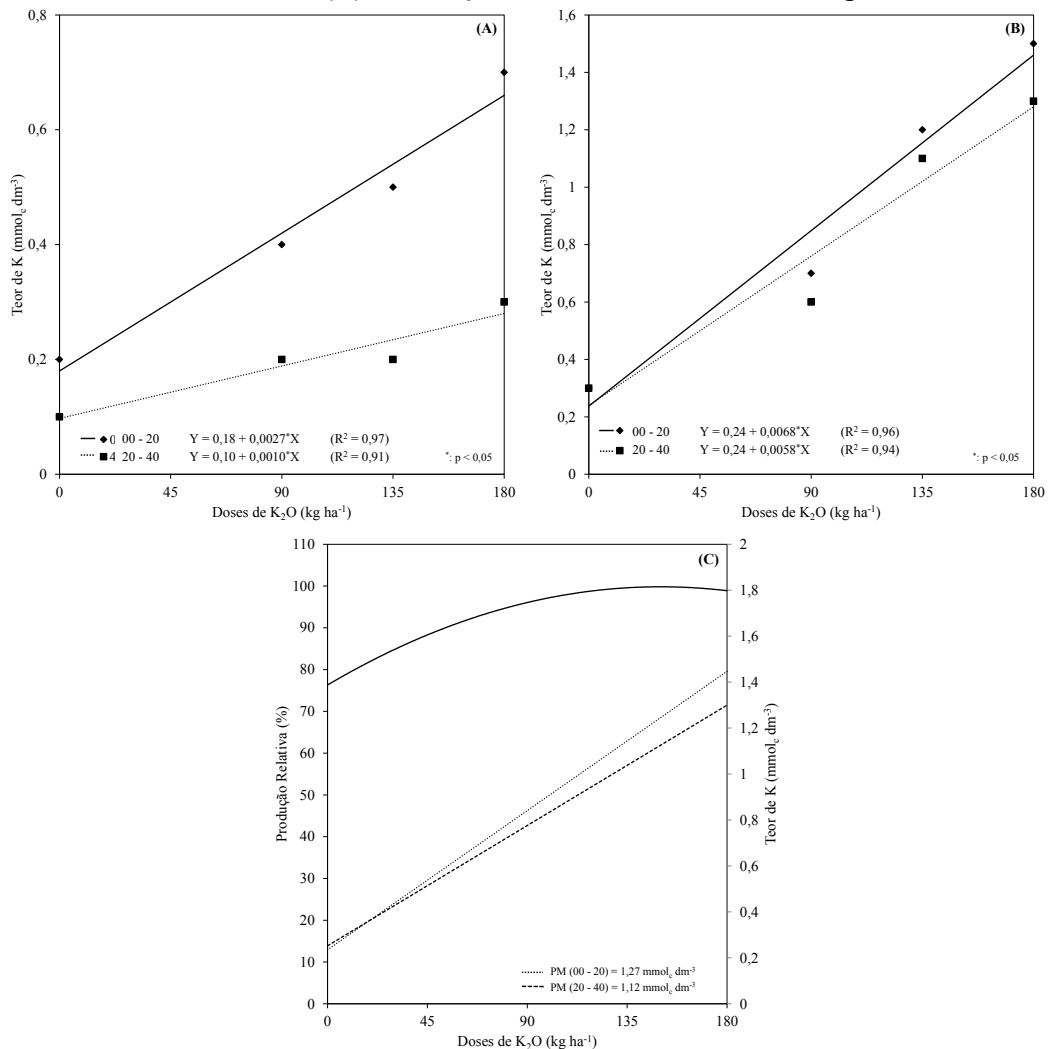
ns; \*, - não significativo; significativo a 5% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Na camada superficial, os teores de Ca estavam próximos do médio ( $4\text{-}7 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) e de 20-40 cm como baixos ( $0\text{-}3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ). O maior teor de Ca na superfície está associado a não incorporação do calcário, uma vez que, nas operações de instalação da cultura, o mesmo foi aplicado a lanço e não incorporado. Os teores de Mg e S, em ambas profundidades estavam baixos ( $0\text{-}4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de  $\text{Mg}^{2+}$  trocável e  $0\text{-}4 \text{ mg dm}^{-3}$  de  $\text{S-SO}_4^{2-}$ ).

A maior dose de  $K_2O$  aplicada propiciou teores de K na linha de 0,67 e 0,28  $mmol_c dm^{-3}$ , nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente (Figura 15 A). Na entre linha esses teores foram de 1,46 e 1,28  $mmol_c dm^{-3}$  (0-20 e 20-40 cm, respectivamente) (Figura 15 B). Os maiores teores verificados na entre linha devem-se a maior quantidade de  $K_2O$  aplicada durante os três parcelamentos de adubação. Ressalta-se que os teores na camada superficial foram superiores ao de 20-40 cm, evidenciado a importância do parcelamento desse nutriente no manejo da fertilização potássica em solos de textura arenosa.

**Figura 15** - Teores de K na linha (A), entre linha (B) de plantio do eucalipto, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm e produção relativa associada aos teores de K na entre linha (C) em função de doses de  $K_2O$ . Três Lagoas/MS, 2014.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Em relação à interpretação dos teores de K no solo, na linha os teores ficaram muito baixos (0,0-0,7  $mmol_c dm^{-3}$ ) e na entre linha baixos (0,8-1,5  $mmol_c dm^{-3}$ ), segundo os limites



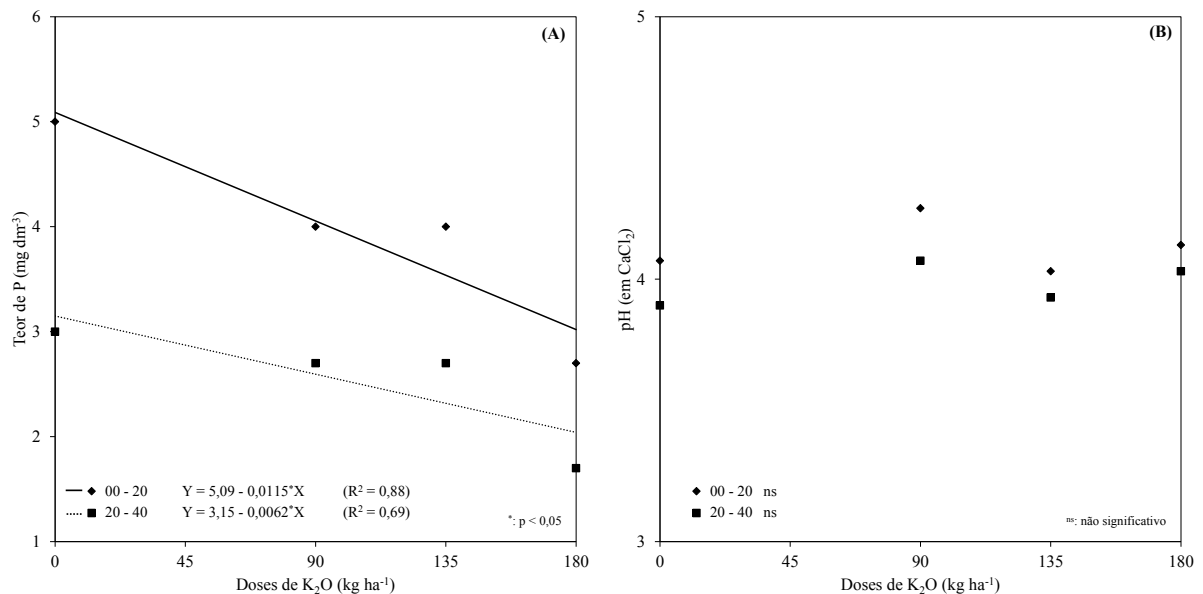
de interpretação dos teores desse nutrientes estabelecido por Raij et al. (1997). Os teores calculados de K para obtenção da máxima produção relativa foram de 1,27 e 1,12 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente (Figura 15 C). De acordo com Silveira e Malavolta (2000), nas condições de teores mais elevados no solo, as respostas do *Eucalyptus* à aplicação de K não têm sido tão consistentes, tendo respondido apenas em solos cujos teores não ultrapassam 1,0 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. Os valores obtidos nesse estudo estão próximos ao elucidado por esses autores.

Os teores de K no solo, na linha e entre linhas, nas duas profundidades, apresentaram correlação positiva com o produtividade de madeira, sendo o coeficiente de correlação “r” significativo para as entre linhas nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm ( $r = 0,86^*$  e  $r = 0,85^*$ , respectivamente). Os teores de P na entre linha decresceram com o aumento das doses de K<sub>2</sub>O em ambas as profundidades avaliadas (Figura 16). Na camada superficial os teores de P, na ausência da fertilização potássica, foi de 5,1 mg dm<sup>-3</sup> e com aplicação de 180 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O de 3,0 mg dm<sup>-3</sup> de P, propiciando redução de 41,2% de P, e para profundidade de 20-40 cm de 35,4%.

Hömheld (2005) afirmou que K promove redução no pH da rizosfera. Essa acidificação da rizosfera, segundo Arcand e Shneider (2006) é causada pela grande absorção de cátions em relação aos ânions, resultando na excreção de H<sup>+</sup>. Nesse sentido, o incremento das doses de K<sub>2</sub>O, juntamente com maior a absorção deste nutriente, levaria à maior excreção de H<sup>+</sup>, conseqüentemente diminuição do pH, o que não foi verificado na presente pesquisa (Figura 16 B). No entanto, verificou-se diminuição dos teores de P no solo, essa diminuição na sua disponibilidade, conforme afirmado por Malavolta (1980), é um dos efeitos indiretos do pH, em que com diminuição desse tem-se menor disponibilidade de P.

Nesse sentido, a redução dos teores de P pode estar associado ao aumento da produtividade de madeira em função do incremento de doses de K<sub>2</sub>O, o que levaria a maior absorção de P do solo.

**Figura 16** - Teores de P no solo (A) e pH (B) na entre linha de plantio do eucalipto, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm em função de doses de K<sub>2</sub>O. Três Lagoas/MS, 2014.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Os teores de Mn no solo na linha (0-20 cm) e na entre linha (20-40 cm) foram influenciados pelas doses de K<sub>2</sub>O aplicadas ao solo (Tabela 21).

De acordo com os limites de interpretação dos teores dos micronutrientes no solo proposto por Raij et al. (1997), os teores de Mn e Fe, em todas as avaliações ficaram altos ( $> 5,0 \text{ mg dm}^{-3}$  de Mn e  $> 12 \text{ mg dm}^{-3}$  de Fe). Os valores de Cu e Zn foram altos na linha ( $> 0,8 \text{ mg dm}^{-3}$  de Cu e  $> 1,2 \text{ mg dm}^{-3}$  de Zn), devido a aplicação desses dois nutrientes na linha de plantio no início do experimento, em todos os tratamentos. Ao contrário, nas entre linhas os teores para Cu permaneceram médios ( $0,3\text{-}0,8 \text{ mg dm}^{-3}$  de Cu) e do Zn como baixos ( $0,0\text{-}0,5 \text{ mg dm}^{-3}$  de Zn).

Em relação ao B, os valores foram interpretados como altos ( $> 0,60 \text{ mg dm}^{-3}$  de B) nas duas profundidades das entre linhas; em contrapartida, na linha os teores foram médios ( $0,21\text{-}0,60 \text{ mg dm}^{-3}$  de B). Essa diferença está ligada ao modo de aplicação desse nutriente, uma que, foram aplicados  $1 \text{ kg ha}^{-1}$  de B no sulco de plantio e total de  $2 \text{ kg ha}^{-1}$  de B parcelados em duas aplicações de cobertura (nove e 14 meses após o plantio), sendo esses aplicados na entre linha (projeção da copa).

**Tabela 21** - Teores de micronutrientes na linha e na entre linha das plantas de eucalipto, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, em função de doses de K<sub>2</sub>O. Três Lagoas/MS, 2014.

Prof. (cm)	Doses de K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> )	Linha				
		B	Cu	Zn	Mn	Fe
		mg dm <sup>-3</sup>				
0-20	0	0,40 <sup>ns</sup>	3,20 <sup>ns</sup>	3,50 <sup>ns</sup>	6,47*	30,67 <sup>ns</sup>
	90	0,49	5,47	2,60	8,30	33,33
	135	0,51	3,30	2,83	8,23	27,33
	180	0,42	8,10	4,20	8,57	27,33
	C.V. (%)		25,37	35,60	49,31	10,69
20-40	0	0,42 <sup>ns</sup>	0,70 <sup>ns</sup>	1,17 <sup>ns</sup>	3,93 <sup>ns</sup>	25,67
	90	0,42	1,40	1,03	5,57	23,67
	135	0,47	0,50	0,60	5,90	23,33
	180	0,52	0,70	1,73	4,90	21,33
	C.V. (%)		8,39	27,05	27,36	14,91
<b>Entre Linha (Projeção da Copa)</b>						
0-20	0	0,58 <sup>ns</sup>	0,30 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>	11,07 <sup>ns</sup>	38,33 <sup>ns</sup>
	90	0,95	0,33	0,20	11,47	32,67
	135	0,60	0,33	0,23	10,47	40,67
	180	0,76	0,37	0,20	9,73	37,67
	C.V. (%)		23,79	11,18	7,75	19,49
20-40	0	1,13 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	5,30*	23,67 <sup>ns</sup>
	90	1,67	0,40	0,13	6,27	22,33
	135	0,80	0,37	0,17	7,37	27,33
	180	1,06	0,37	0,10	7,63	23,33
	C.V. (%)		15,56	20,37	37,71	18,43

ns; \*, - não significativo; significativo a 5% pelo teste F.

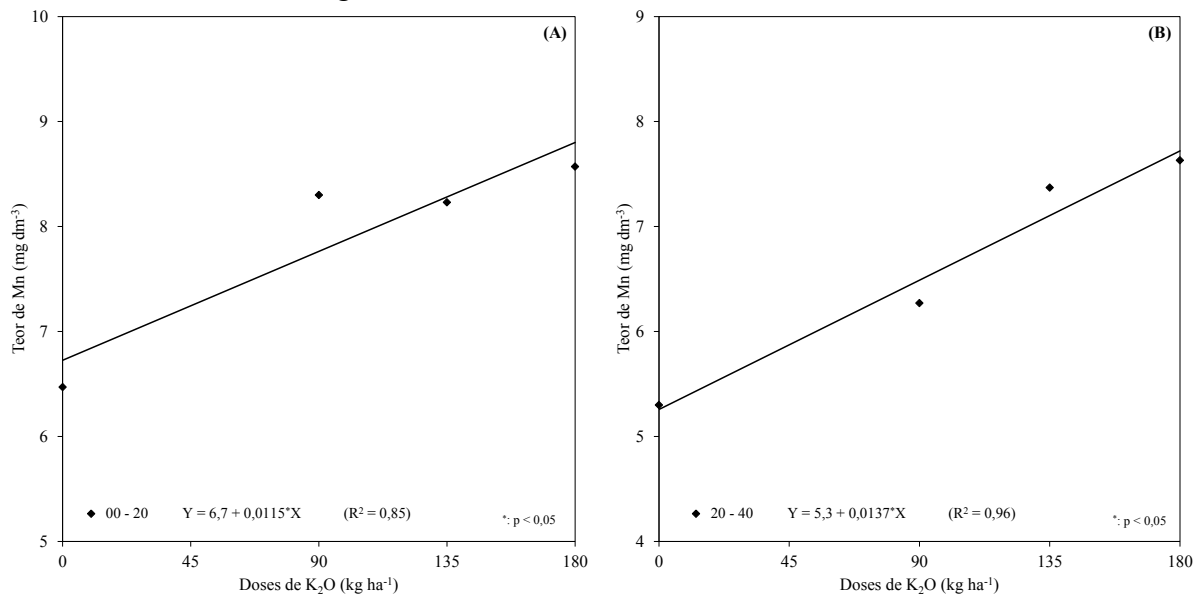
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Na linha (0-20 cm) e nas entre linhas (20-40 cm) os teores de Mn foram influenciados pelas doses de K<sub>2</sub>O aplicadas ao solo. Em ambas houve aumento dos teores de Mn em função do aumento das doses de K<sub>2</sub>O (Figura 17 A e B), esses apresentaram correlação positiva ( $r = 0,99^{**}$ ) com teores de K no solo na profundidade de 20-40 cm nas entre linhas.

De acordo com Hömheld (2005), o K promove redução no pH da rizosfera. Essa acidificação da rizosfera, segundo Arcand e Shneider (2006), é causada pela grande absorção de cátions em relação aos ânions, resultando na excreção de H<sup>+</sup>. Nesse sentido, o incremento das doses de K<sub>2</sub>O juntamente, com maior absorção deste nutriente, levaria a maior excreção de H<sup>+</sup>, consequentemente diminuição do pH, o que não foi verificado na presente pesquisa (Figura 16 B). No entanto, verificou-se aumento dos teores de Mn no solo, esse aumento na sua disponibilidade, conforme afirmado por Malavolta (1980), é um dos efeitos indiretos do

pH, em que com sua redução tem-se maior disponibilidade de Fe, Zn, Cu e de Mn. No entanto, Malavolta (2006) relatou que os microrganismos da rizosfera são os maiores responsáveis pela oxidação do  $Mn^{2+}$ , isto é, pela conversão do  $Mn^{4+}O_2$  (menos disponível) para forma mais disponível ( $Mn^{2+}$ ).

**Figura 17** - Teor de Mn no solo na linha (A) na profundidade de 0-20 cm e nas entre linhas de plantio do eucalipto na profundidade de 20-40 cm (B), em função de doses de  $K_2O$ . Três Lagoas/MS, 2014.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

#### 4.3.3 Relação dos nutrientes no solo

O balanço de Ca e Mg em relação ao K foi influenciado pelas doses de  $K_2O$ , na profundidade de 0-20 cm, na linha, e nas duas profundidades nas entre linhas (Tabela 22). Os resultados de Ca/K, Mg/K e (Ca+Mg)/K ajustaram-se às funções quadráticas, sendo os seus valores decrescentes com o aumento das doses de  $K_2O$  (Figura 18 A, B, C, D, E e F).

Devido à maior dose aplicada de potássio na entre linha (projeção da copa), o efeito do K em relação a Ca e Mg foi mais pronunciado. Na ausência da aplicação de potássio o balanço de Ca/K foi de 16,7 na linha (0-20 cm) e de 12,7 na entre linha (0-20 cm). Sousa e Lobato (2004) propuseram faixas para interpretação da análise de solo do Cerrado em função das relações entre o cálcio, magnésio e potássio. De forma geral, a relação Ca/K foi tida como média (7 a 14).

**Tabela 22** - Relações de Ca/K, Mg/K e (Ca+Mg)/K no solo, avaliados nas linhas e entre linhas de plantio do eucalipto, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, em função de doses de K<sub>2</sub>O. Três Lagoas/MS, 2014.

<b>Linha</b>				
<b>Prof. (cm)</b>	<b>Doses de K<sub>2</sub>O (kg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Ca/K</b>	<b>Mg/K</b>	<b>(Ca+Mg)/K</b>
<b>0-20</b>	<b>0</b>	16,7 <sup>**</sup>	8,9 <sup>*</sup>	25,5 <sup>*</sup>
	<b>90</b>	7,7	4,7	12,3
	<b>135</b>	5,6	3,8	9,4
	<b>180</b>	5,4	2,7	8,1
<b>C.V. (%)</b>		18,61	17,42	16,27
<b>20-40</b>	<b>0</b>	13,3 <sup>ns</sup>	6,7 <sup>ns</sup>	20,0 <sup>ns</sup>
	<b>90</b>	15,0	8,3	23,3
	<b>135</b>	10,0	5,0	15,0
	<b>180</b>	5,8	3,3	9,2
<b>C.V. (%)</b>		18,60	21,30	18,92
<b>Entre Linha (Projeção da Copa)</b>				
<b>0-20</b>	<b>0</b>	12,7 <sup>**</sup>	8,7 <sup>*</sup>	21,3 <sup>*</sup>
	<b>90</b>	4,2	2,9	7,1
	<b>135</b>	2,2	1,5	3,7
	<b>180</b>	1,9	1,0	2,9
<b>C.V. (%)</b>		19,22	15,73	18,63
<b>20-40</b>	<b>0</b>	10,5 <sup>ns</sup>	5,5 <sup>ns</sup>	16,1 <sup>ns</sup>
	<b>90</b>	6,2	3,9	10,1
	<b>135</b>	3,3	1,7	5,0
	<b>180</b>	1,0	0,8	1,9
<b>C.V. (%)</b>		34,24	29,21	33,36

ns; \*, \*\* - não significativo; significativo a 5 e 1% pelo teste F.

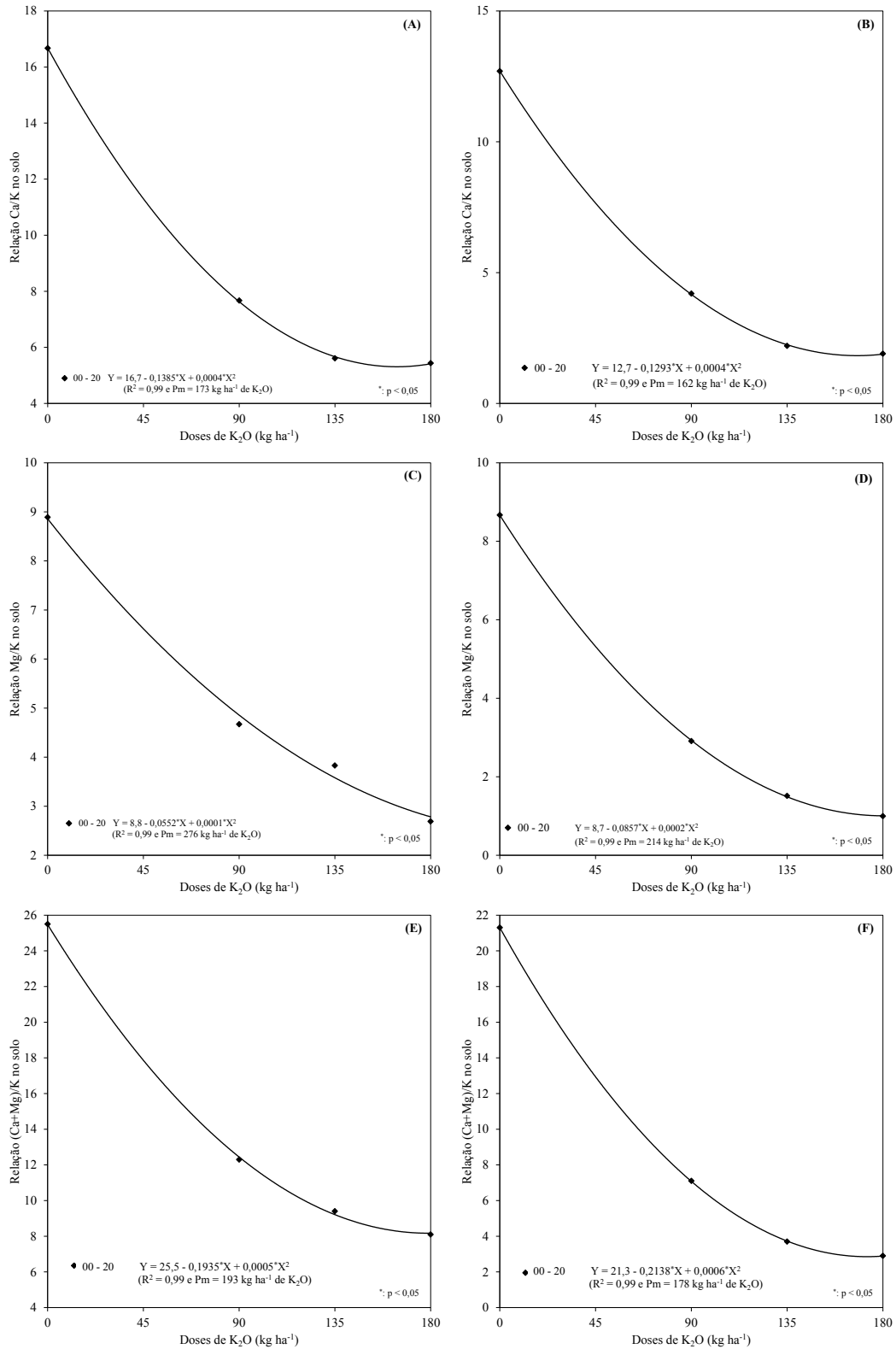
Fonte: Elaboração do próprio autor.

A maior produtividade de madeira foi obtida com aplicação de 151 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O aos 24 meses de idade do eucalipto (Figura 14 A). Nessa dose, a relação estimada de Ca/K na linha foi de 4,9 e na entre linha de 2,3; sendo esses valores tidos como baixos.

Na ausência da aplicação de K<sub>2</sub>O, a relação de Mg/K foi de 8,9 na linha (0-20 cm) e de 8,7 na entre linha (0-20 cm), sendo essa adequada (5 a 15). Com aplicação de 151 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O de 2,7 e 0,3 (linha e entre linha, respectivamente), sendo médio na linha (2 a 4) e baixo nas entre linhas (< 2).

A relação (Ca+Mg)/K foi de 25,5 e 21,3 (linha e entre linha) na ausência da fertilização potássica. Esses valores são tidos como adequados (20 a 30), entretanto, com aplicação de 151 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O foram de 7,7 e 2,7 (linha e entre linha, respectivamente), ambos tidos como baixos (< 10).

**Figura 18** - Relações de Ca/K (A e B), Mg/K (C e D) e (Ca+Mg)/K (E e F) no solo, avaliados na linha e nas entre linhas de plantio do eucalipto, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, em função de doses de K<sub>2</sub>O. Três Lagoas/MS, 2014.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

As espécies de eucaliptos são consideradas exigentes em nutrientes, sendo que o seu acúmulo no tronco e na parte aérea total segue a seguinte ordem:  $N > Ca > K > Mg > P$  (ANDRADE et al., 2006; FARIA et al., 2008). Benatti (2013) obteve em clones de eucalipto, aos seis anos e meio de idade, a seguinte sequência:  $Ca > N > K > Mg > P$ , no entanto, o autor ressaltou que a quantidade de Ca e N acumulada foi praticamente semelhante. Vieira et al. (2012) relataram a mesma sequência, com híbrido *Eucalyptus urograndis*, aos 18 meses de idade. Com base nessas constatações, verifica-se que, dentre os macronutrientes primários, o N e o K são os mais extraídos e o P, o menos. Portanto, a demanda de Ca pela cultura é grande, logo para aumentar essas relações para valores “adequados”, seria recomendada a reaplicação da calagem ou aumentar a doses com incorporação.

A relação de K com Cu, Mn e Fe foi influenciada pelas doses de  $K_2O$ . O Cu/K na profundidade de 0-20 cm na entre linha, de Mn na profundidade de 0-20 cm na linha e nas duas profundidades na entre linha e o de Fe em todas as avaliações (Tabela 23).

**Tabela 23** - Relações de Cu/K, Zn/K, Mn/K e Fe/K no solo, avaliadas na linha e nas entre linhas de plantio do eucalipto, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, em função de doses de K<sub>2</sub>O. Três Lagoas/MS, 2014.

<b>Linha</b>					
<b>Prof. (cm)</b>	<b>Doses de K<sub>2</sub>O (kg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Cu/K</b>	<b>Zn/K</b>	<b>Mn/K</b>	<b>Fe/K</b>
<b>0-20</b>	<b>0</b>	0,39 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>	0,72 <sup>**</sup>	3,59 <sup>**</sup>
	<b>90</b>	0,35	0,16	0,49	1,95
	<b>135</b>	0,16	0,13	0,44	1,43
	<b>180</b>	0,27	0,15	0,33	1,07
	<b>C.V. (%)</b>		14,86	12,59	18,74
<b>20-40</b>	<b>0</b>	0,12 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	0,66 <sup>ns</sup>	4,44 <sup>*</sup>
	<b>90</b>	0,18	0,13	0,71	3,03
	<b>135</b>	0,06	0,08	0,76	2,99
	<b>180</b>	0,07	0,16	0,41	1,90
	<b>C.V. (%)</b>		8,58	9,72	24,53
<b>Entre Linha (Projeção da Copa)</b>					
<b>0-20</b>	<b>0</b>	0,03 <sup>*</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	1,18 <sup>**</sup>	4,12 <sup>**</sup>
	<b>90</b>	0,02	0,01	0,48	1,39
	<b>135</b>	0,01	0,01	0,31	1,24
	<b>180</b>	0,01	0,01	0,19	0,73
	<b>C.V. (%)</b>		41,23	8,81	13,13
<b>20-40</b>	<b>0</b>	0,05 <sup>*</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,74 <sup>*</sup>	3,36 <sup>*</sup>
	<b>90</b>	0,03	0,01	0,39	1,46
	<b>135</b>	0,01	0,01	0,31	1,20
	<b>180</b>	0,01	0,01	0,16	0,52
	<b>C.V. (%)</b>		32,16	7,78	13,75

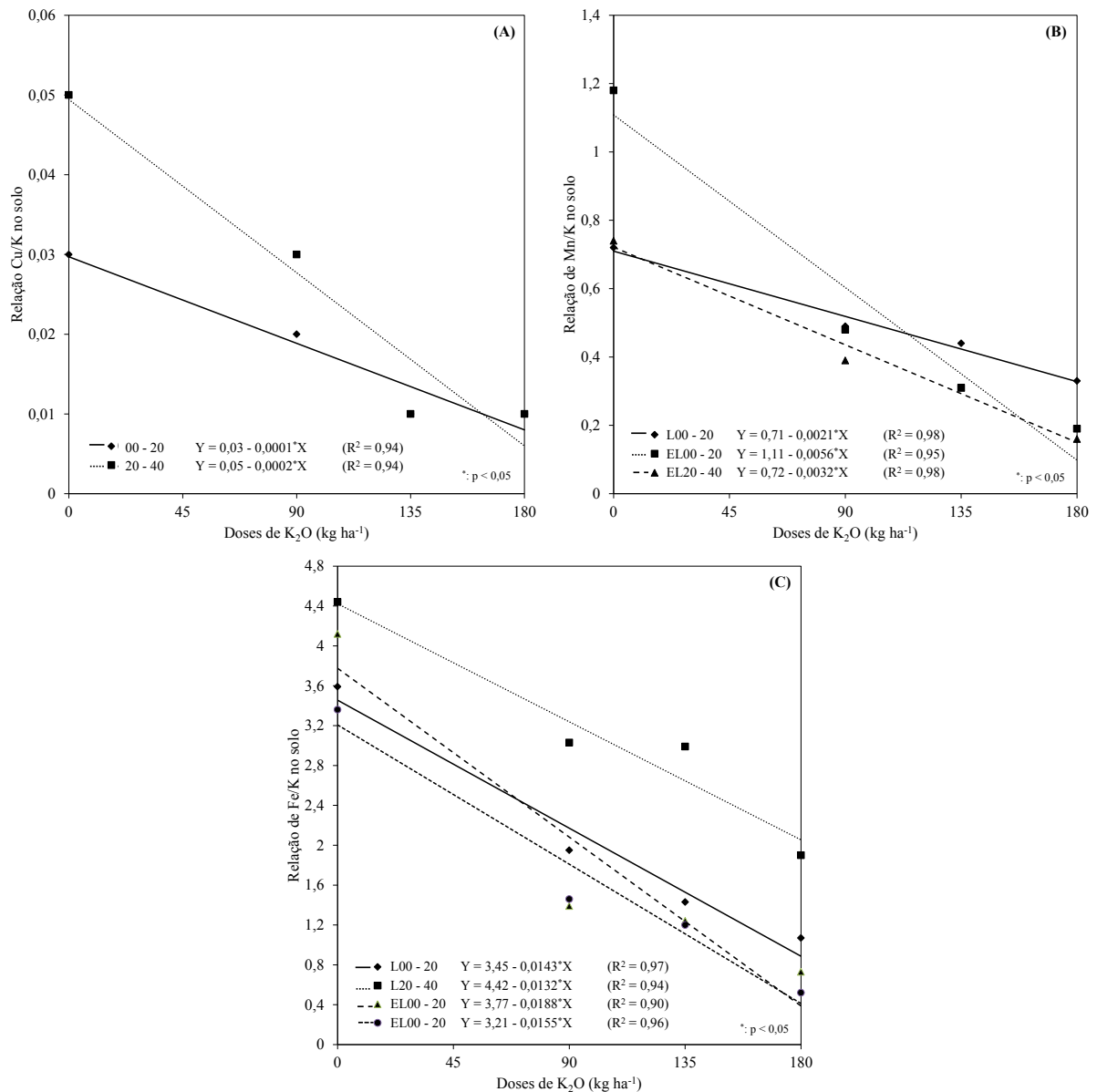
ns; \*, \*\* - não significativo; significativo a 5 e 1% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

As relações decresceram com aumento das doses de K<sub>2</sub>O (Figura 19 A, B e C). No geral, essas relações foram mais expressivas nas entre linhas, devido à aplicação da maior quantidade de K<sub>2</sub>O nas adubações de cobertura.



**Figura 19** - Relações de Cu/K (A), Mn/K (B) e Fe/K (C) no solo, avaliadas na linha e nas entre linhas de plantio do eucalipto, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, em função de doses de K<sub>2</sub>O. Três Lagoas/MS, 2014.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

#### 4.3.4 Concentrações dos nutrientes nas folhas

De maneira geral, as concentrações dos macronutrientes nas folhas do eucalipto ficaram próximas ou dentro das faixas consideradas adequadas por Dell et al. (2001) para a fase inicial de crescimento (Tabela 24). Esses autores propõem para essa fase as seguintes faixas: N de 18 a 30 g kg<sup>-1</sup>; P de 1 a 3 g kg<sup>-1</sup>; K de 6 a 18 g kg<sup>-1</sup>; Ca de 3 a 8 g kg<sup>-1</sup>; Mg 1 a 3 g kg<sup>-1</sup> e S de 1,5 a 3 g kg<sup>-1</sup>. As concentrações de P, Ca, Mg e S estiverem dentro da faixa

proposta; o N aos 18 meses esteve pouco abaixo e para o K foi inferior somente na omissão da aplicação desse nutriente (5,3 e 4,0 g kg<sup>-1</sup> de K, aos 18 e 21 meses, respectivamente).

**Tabela 24** - Concentrações dos macronutrientes aos 12, 18 e 24 meses de idade do eucalipto, em função de doses de K<sub>2</sub>O. Três Lagoas/MS, 2013/14.

Idade	Doses de K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> )	g kg <sup>-1</sup>					
		N	P	K	Ca	Mg	S
12 meses	0	28,7 <sup>ns</sup>	2,2 <sup>ns</sup>	6,0 <sup>**</sup>	6,6 <sup>ns</sup>	3,7 <sup>*</sup>	1,9 <sup>ns</sup>
	60	21,9	1,5	9,0	6,9	3,1	1,4
	87	26,5	2,0	11,0	6,1	3,0	1,5
	114	20,7	1,4	12,0	6,6	2,9	1,3
	C.V. (%)		15,10	18,52	12,15	20,57	9,67
18 meses	0	18,3 <sup>*</sup>	1,4 <sup>**</sup>	5,3 <sup>*</sup>	7,3 <sup>*</sup>	2,9 <sup>**</sup>	1,6 <sup>ns</sup>
	90	16,7	1,2	7,3	7,2	2,3	1,5
	135	16,4	1,3	6,7	6,9	2,2	1,5
	180	16,2	1,1	7,3	5,6	2,1	1,4
	C.V. (%)		5,98	4,40	15,0	10,03	12,05
24 meses	0	20,0 <sup>*</sup>	1,2 <sup>*</sup>	4,0 <sup>**</sup>	7,1 <sup>*</sup>	2,5 <sup>**</sup>	1,6 <sup>ns</sup>
	90	18,8	1,2	6,0	6,6	2,2	1,5
	135	18,2	1,1	7,0	7,0	1,9	1,5
	180	17,7	1,0	9,0	6,2	1,7	1,9
	C.V. (%)		6,73	10,66	16,22	10,50	16,20

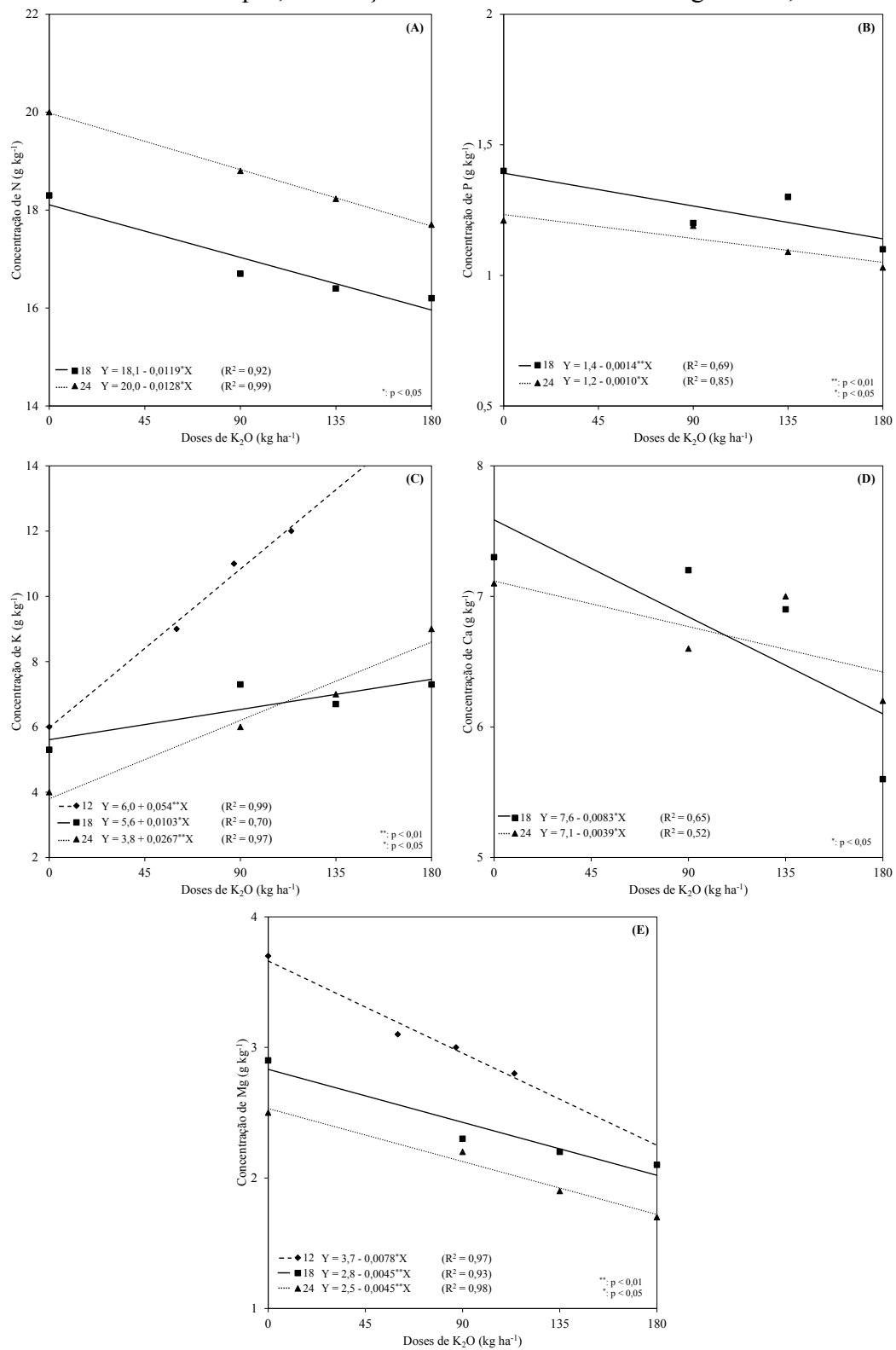
ns; \*, \*\* - não significativo; significativo a 5 e 1% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

O aumento das doses de K<sub>2</sub>O influenciou as concentrações de todos os macronutrientes, com exceção do enxofre (S). Para o K houve aumento das concentrações foliares em função da aplicação crescente do nutriente no solo, diferindo das concentrações de N, P, Ca e Mg que decresceram linearmente (Figuras 20 A, B, D e E).

A provável causa da diminuição das concentrações de N e P é o “efeito diluição” desses nutrientes na folha, uma vez que, com aumento das doses K<sub>2</sub>O, houve maior crescimento das plantas em DAP, altura e volume (Figuras 12 A e B, 13 A), resultando em menor concentração destes nutrientes. Segundo Valeri et al. (2001), a aplicação de K favoreceu o desenvolvimento das árvores, o que levou à diminuição do teor de N na madeira e nos ramos. Silva et al. (2008) constataram que a menor concentração foliar de P, constatada no tratamento com adubação mineral, pode ser atribuída à rápida fixação do P mineral adicionado ao solo via adubo, associada também ao efeito da diluição do P na maior quantidade de biomassa produzida nesse tratamento.

**Figura 20** - Concentrações de N, P, K, Ca e Mg (A, B, C, D e E) aos 12, 18 e 24 meses de idade do eucalipto, em função de doses de  $K_2O$ . Três Lagoas/MS, 2013/14.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

O decréscimo nas concentrações foliares de Ca e Mg em função do aumento de doses de K também foi verificado por Silveira (2000), que avaliou o efeito do K no crescimento, nas concentrações dos nutrientes e nas características da madeira juvenil de progênies de *Eucalyptus grandis* cultivadas em solução nutritiva e constatou, em todas as progênies, que a concentração de Ca e Mg nos tecidos vegetais, principalmente nas folhas, foi afetada negativamente com o aumento da dose de K.

Essa diminuição está relacionada a fatores externos que influenciam na absorção iônica entre K, Ca e Mg no solo; neste caso, a elevada concentração de um dos nutrientes no solo leva a menor absorção do outro, o que evidencia o efeito de inibição competitiva. Exemplo tradicional da inibição competitiva é dado por altas concentrações de K no meio e no seu efeito na absorção do Ca e Mg (MALAVOLTA, 1980). Esse tipo de inibição pode ser vencida quando a concentração externa do elemento é aumentada, pois assim, tem maior probabilidade de ocupar os sítios do carregador, como também é capaz de deslocar o competidor (MALAVOLTA, 2006).

Marschner (1995) relatou que o K pode atravessar a membrana plasmática com maior velocidade, deprimindo a absorção de cátions mais lentos como Ca e Mg. Essa absorção preferencial de  $K^+$  está associada a sua valência, que é monovalente com menor grau de hidratação comparado aos bivalentes ( $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ ) (PRADO, 2008). No entanto, a menor absorção desses nutrientes não acarretou em prejuízos para cultura, posto que suas concentrações foliares ficaram adequadas, segundo as faixas descritas por Dell et al. (2001).

Correlação de K na folha aos 24 meses com teores de K nas entre linhas das plantas foram de 0,98\*\* e 0,96\*\* (0-20 e 20-40 cm, respectivamente), e com o volume de madeira ( $r = 0,78^*$ ). Tal resultado evidencia que o aumento dos teores de K no solo, propiciam maiores concentrações de K nas folhas e conseqüentemente em aumento da produção de madeira.

As concentrações de B e Fe nas folhas do eucalipto ficaram acima da faixa considerada “adequada” por Dell et al. (2001) para a fase inicial de crescimento (Tabela 25). Esses autores propuseram para essa fase as seguintes faixas para os micronutrientes: B de 15 a 27  $mg\ kg^{-1}$ ; Cu de 2 a 11  $mg\ kg^{-1}$ ; Zn de 15 a 50  $mg\ kg^{-1}$ ; Mn de 60 a 2300  $mg\ kg^{-1}$  e Fe de 25 a 130  $mg\ kg^{-1}$ . A de Mn ficou dentro dessa faixa estabelecida pelos autores. As concentrações de Zn ficaram abaixo da faixa adequada nas avaliações de 18 e 24 meses, enquanto o Cu ficou acima, aos 12 meses e dentro da faixa adequada nas avaliações subsequentes.

A elevada concentração de B deve-se a aplicação de 3 kg ha<sup>-1</sup> de B no plantio e em cobertura. Os maiores teores de Zn e Cu verificadas aos 12 meses estão associadas à aplicação de sulfato de zinco (1 kg ha<sup>-1</sup> de Zn) e sulfato de cobre (1 kg ha<sup>-1</sup> de Cu) no plantio.

**Tabela 25** - Concentrações dos micronutrientes aos 12, 18 e 24 meses de idade do eucalipto, em função de doses de K<sub>2</sub>O. Três Lagoas/MS, 2013/14.

Idade	Doses de K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> )	B	Cu	Zn	Mn	Fe
		mg kg <sup>-1</sup>				
12 meses	0	82,4 <sup>ns</sup>	32,5 <sup>ns</sup>	21,9 <sup>ns</sup>	975,5 <sup>ns</sup>	96,5 <sup>ns</sup>
	60	111,2	27,5	17,5	1109,5	91,0
	87	74,3	34,5	21,0	1226,5	89,5
	114	145,1	33,5	21,7	1187,0	139,0
	C.V. (%)		17,23	13,20	12,03	12,66
18 meses	0	73,4 <sup>ns</sup>	43,3 <sup>ns</sup>	13,0 <sup>ns</sup>	883,0 <sup>ns</sup>	125,3 <sup>ns</sup>
	90	78,4	35,7	8,3	791,0	140,3
	135	71,4	29,3	4,7	1035,0	152,0
	180	81,2	24,3	8,7	906,3	139,0
	C.V. (%)		16,81	32,59	32,48	19,00
24 meses	0	105,6 <sup>ns</sup>	7,5 <sup>ns</sup>	9,0 <sup>ns</sup>	847,0 <sup>ns</sup>	114,0 <sup>ns</sup>
	90	103,5	7,5	9,7	925,5	119,7
	135	104,1	6,5	8,5	1084,7	113,7
	180	108,3	6,1	8,7	1095,7	135,0
	C.V. (%)		8,74	15,83	14,47	20,19

ns - não significativo pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

#### 4.3.5 Relação dos nutrientes nas folhas

O aumento de doses de K<sub>2</sub>O propiciou maiores relações desse nutriente em relação aos demais macronutrientes (Tabela 26).

A maior dose aplicada propiciou relação K/N de 0,59; 0,45 e 0,51; K/P de 8,91; 6,57 e 8,78; K/Ca de 1,86; 1,30 e 1,46; K/Mg de 4,18; 3,59 e 5,30; e K/S de 9,11; 5,00 e 4,86 (aos 12, 18 e 24 meses, respectivamente). As relações de N, P, Ca e Mg são maiores aos 24 meses em relação aos 18. Esse efeito deve-se ao fato do principal mecanismo de absorção de K ser por difusão, que se trata do movimento do elemento a curta distância dentro de uma fase aquosa (solução do solo) estacionária, e a favor do gradiente de concentração (MALAVOLTA, 2006). Logo na estação chuvosa (24 meses - verão) há maior absorção desse nutriente em relação ao período seco (18 meses - inverno).

De acordo com Prado (2008), a relação próxima de 1,5 foi a que proporcionou a produção próxima da máxima e a baixa relação K/Ca, devido ao alto teor de Ca, pode estar associada à baixa produção do eucalipto. Neste estudo, a maior dose aplicada propiciou relação K/Ca de 1,46 (180 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O), próxima à mencionada pelo autor.

**Tabela 26** - Relações dos macronutrientes aos 12, 18 e 24 meses de idade do eucalipto, em função de doses de K<sub>2</sub>O. Três Lagoas/MS, 2013/14.

Idade	Doses de K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> )	K/N	K/P	K/Ca	K/Mg	K/S
12 meses	0	0,21*	2,84*	0,96*	1,63**	3,22**
	60	0,41	5,82	1,30	2,91	6,49
	87	0,42	5,58	1,84	3,65	7,10
	114	0,59	8,91	1,86	4,18	9,11
C.V. (%)		22,71	28,40	27,50	5,00	15,74
18 meses	0	0,29**	3,72**	0,73**	1,95**	3,38**
	90	0,44	5,97	1,01	3,15	4,82
	135	0,41	5,24	1,00	2,98	4,44
	180	0,45	6,57	1,30	3,59	5,00
C.V. (%)		11,44	14,87	15,89	19,35	14,71
24 meses	0	0,20**	3,36**	0,56**	1,64**	2,49**
	90	0,32	4,98	0,90	2,81	3,95
	135	0,38	6,47	1,02	3,69	4,55
	180	0,51	8,78	1,46	5,30	4,86
C.V. (%)		14,64	16,31	18,50	12,92	15,15

\*; \*\* - significativo a 5 e 1% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

A razão entre K e os macronutrientes aumentaram em função do incremento de doses de K<sub>2</sub>O, ajustando-se às funções lineares (Figura 21 A, B, C, D e E).

A relação K/N aumentou linearmente com doses de K<sub>2</sub>O, sendo que aos 24 meses de idade do eucalipto, o valor dessa razão foi de 0,51; com a maior dose de K<sub>2</sub>O aplicada. Considerando o inverso da relação de K/N, a razão N/K, os valores seriam para os 24 meses de 5,00; 3,12; 2,63 e 1,96 (0; 90; 135 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O). Ou seja, com aumento das doses de K<sub>2</sub>O, ocorreria a redução de N/K nas folhas. Silveira (2000) avaliou o efeito do potássio nas características da madeira juvenil de quatro progênies de *Eucalyptus grandis* cultivadas em solução nutritiva, e constatou que os aumentos na relação N/K nas folhas reduziram o comprimento e largura das fibras, a concentração e quantidade de holocelulose. Nesse sentido, a diminuição da relação N/K pode aumentar a concentração e quantidade de holocelulose.

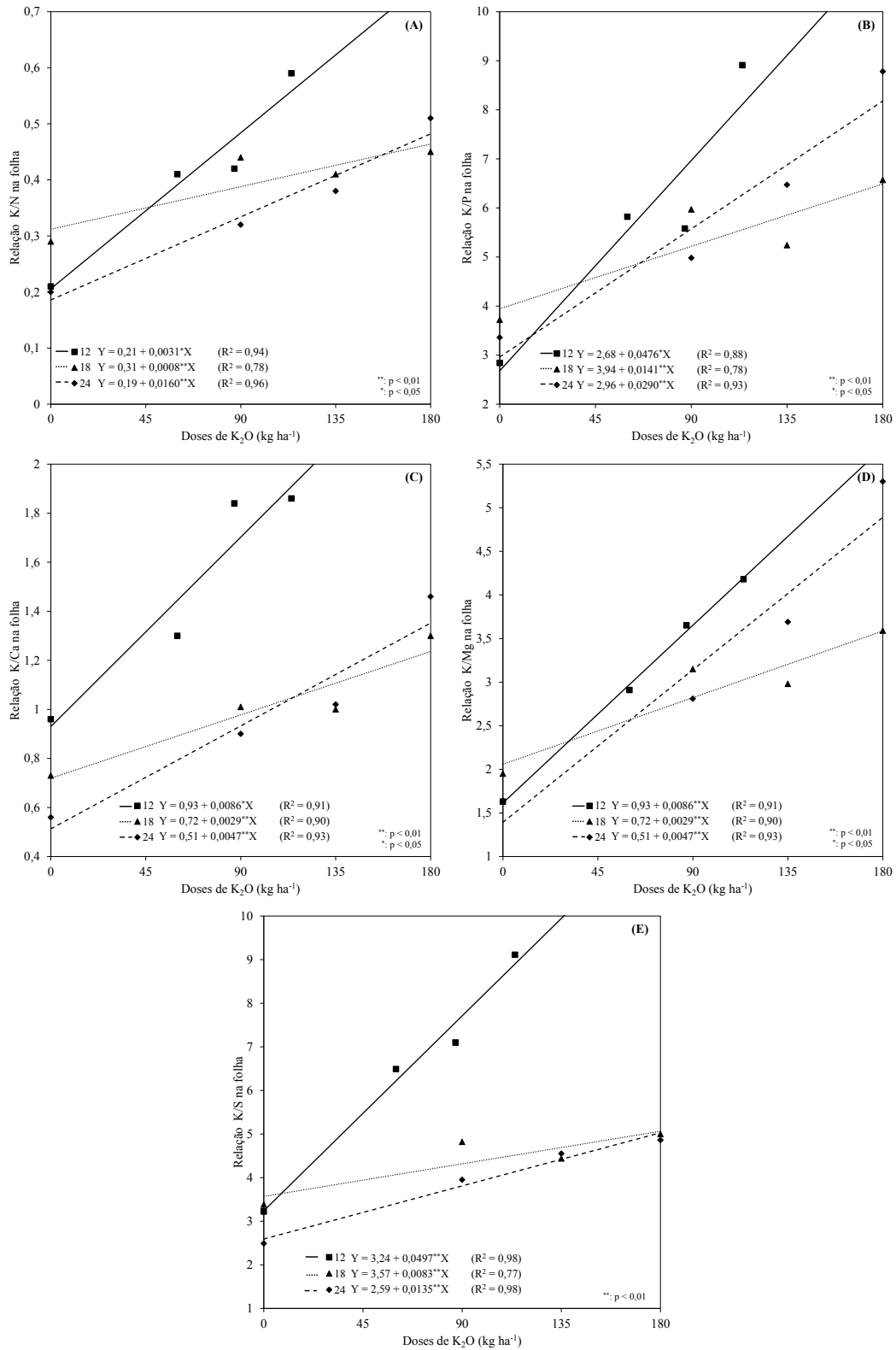
O aumento na densidade da madeira está associado ao aumento do teor de holocelulose (VITAL; JESUS; VALENTE, 1986; TRUGILHO; LIMA; MENDES, 1996). De acordo com Santos et al. (2011), valores superiores da densidade básica da madeira é interessante para produção de carvão vegetal, visto que quando essa se degrada, cerca de 60% de sua massa é perdida, conseqüentemente, quanto maior a sua densidade, maior a massa de carvão vegetal produzido para um determinado volume, além disso, proporciona, de modo geral, carvão com maior resistência mecânica.

A relação K/P aumentou linearmente com doses de  $K_2O$ , sendo que aos 24 meses de idade do eucalipto, o valor dessa razão foi de 8,78 com a maior dose de  $K_2O$  aplicada. Silveira (2000) constatou que a razão K/P foliar de 8,5 e 5,4 para as progênies 3 e 4, foram as que proporcionaram a máxima produção de celulose, no entanto, essa relação para essas progênies em relação a concentração de holocelulose não foram significativas.

Considerando a dose ótima para obtenção da máxima produção relativa em volume de madeira aos 18 e 24 meses (Figura 22 A e B), as relações de N, P, Ca e Mg são maiores aos 24 meses em relação aos 18. Esse efeito deve-se ao fato do principal mecanismo de absorção de K ser por difusão, que se trata do movimento do elemento a curta distância dentro de uma fase aquosa (solução do solo) estacionária, e a favor do gradiente de concentração (MALAVOLTA, 2006). Logo na estação chuvosa (24 meses - verão) há maior absorção desse nutriente em relação ao período seco (18 meses - inverno).

Silveira (2000) ao estudar a exigência nutricional de quatro progênies de *Eucalyptus grandis* em relação ao potássio, na fase juvenil, verificou respostas positivas na quantidade de holocelulose devido à sua aplicação, e verificou que o maior conteúdo de holocelulose no lenho foi alcançado quando a relação K/Ca nas folhas era de 3,0 para a progênie 1; 1,5 para a progênie 2; 1,6 para a progênie 3 e 1,3 para a progênie 4. No presente estudo, a razão de 1,22 que está associada à máxima produção de madeira está abaixo da evidenciada por esse autor (Figura 22 B).

**Figura 21** - Relações dos macronutrientes aos 12, 18 e 24 meses de idade do eucalipto, em função de doses de  $K_2O$ . Três Lagoas/MS, 2013/14.

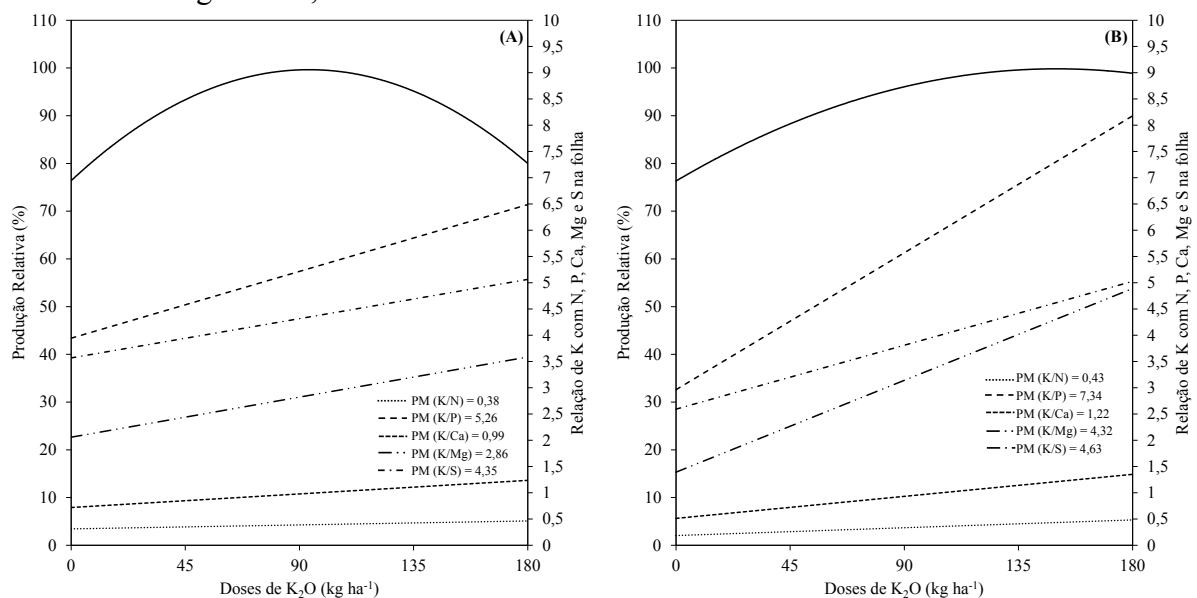


Fonte: Elaboração do próprio autor.



Nesse mesmo estudo, Silveira (2000) verificou que a concentração e a quantidade de holocelulose e a razão K/Mg nas folhas foram quadráticas para a progênie 2, e a máxima concentração e maior acúmulo com as relações K/Mg de 3,1 e 2,4; respectivamente. Para as progênies 3 e 4, houve aumentos da produção de celulose com o aumento dessa razão nas folhas, sendo a máxima produção obtida com as relações de 2,4 e 2,0 nas progênies 3 e 4, respectivamente. No presente estudo, a razão de 4,32 que está associada à máxima produção de madeira está acima da evidenciada por esse autor (Figura 22 B).

**Figura 22** - Relações dos macronutrientes e produção relativa aos 18 e 24 meses de idade do eucalipto (A e B, respectivamente), em função de doses de  $K_2O$ . Três Lagoas/MS, 2013/14.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

O aumento de doses de  $K_2O$  propiciou maiores relações desse nutriente em relação aos demais micronutrientes (Tabela 27).

Essas aumentaram em função do incremento de doses de  $K_2O$ , ajustando-se às funções lineares (Figura 23 A, B e C). Foi verificado ajuste à função linear significativa para K/Cu, K/Zn e K/Mn, aos 12 e 24 meses, e para K/B e K/Fe aos 24 meses.

As relações de Cu e Zn, aos 12 meses de idade do eucalipto, foram inferiores na avaliação aos 24 meses (Figuras 23 B e C). Isso decorreu das maiores concentrações foliares verificadas aos 12 meses de idade, como constatado na Tabela 25. Fato decorrente da aplicação de sulfato de zinco (1 kg ha<sup>-1</sup> de Zn) e sulfato de cobre (1 kg ha<sup>-1</sup> de Cu) no plantio

**Tabela 27** - Relações dos micronutrientes aos 12, 18 e 24 meses de idade do eucalipto, em função de doses de K<sub>2</sub>O. Três Lagoas/MS, 2013/14.

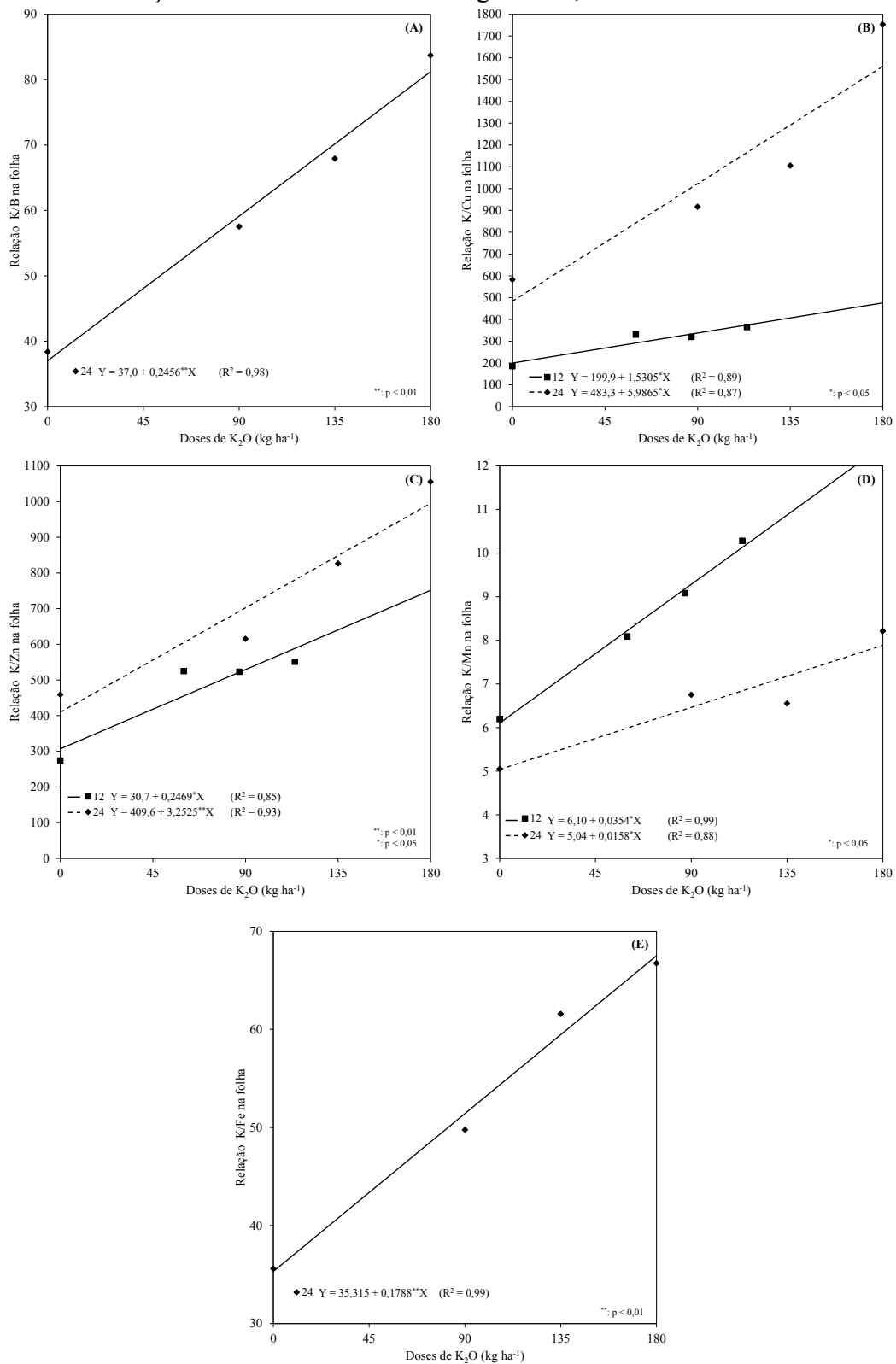
Idade	Doses de K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> )	K/B	K/Cu	K/Zn	K/Mn	K/Fe
12 meses	0	73,55 <sup>ns</sup>	185,00*	273,9*	6,19*	62,31 <sup>ns</sup>
	60	85,11	330,16	524,6	8,09	100,34
	87	152,65	319,32	522,9	9,08	122,76
	114	86,7	364,70	551,1	10,28	91,23
	C.V. (%)		15,57	22,53	18,16	21,95
18 meses	0	76,15 <sup>ns</sup>	178,91 <sup>ns</sup>	555,56 <sup>ns</sup>	6,09 <sup>ns</sup>	42,41 <sup>ns</sup>
	90	94,56	205,97	667,51	10,05	52,15
	135	94,14	346,92	2083,33	6,46	44,34
	180	91,24	312,30	996,30	8,37	52,77
	C.V. (%)		23,84	34,38	41,22	25,11
24 meses	0	38,37 <sup>**</sup>	582,58*	458,77 <sup>**</sup>	5,05*	35,61 <sup>**</sup>
	90	57,52	916,66	615,15	6,75	49,76
	135	67,91	1105,55	826,39	6,55	61,58
	180	83,71	1753,14	1055,37	8,21	66,74
	C.V. (%)		15,75	53,45	16,70	26,79

ns; \*, \*\* - não significativo; significativo a 5 e 1% pelo teste F.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

As relações K/Cu, K/Mn e K/Fe, nas folhas aos 24 meses, apresentam correlações “negativas” de -0,84\*, -0,90\* e -0,93\*, respectivamente, com as relações de Cu/K, Mn/K e Fe/K na entre linha (20-40 cm). Essas correlações foram negativas devido à inversão da razão entre os micronutrientes em relação ao potássio na avaliação das concentrações foliares (K/micronutriente) e dos teores no solo (micronutriente/K). Com base nessa constatação, pode-se afirmar que o desbalanço dos teores desses micronutrientes com adubação potássica no solo, influencia na relação das suas concentrações nas folhas.

**Figura 23** - Relações dos micronutrientes com K aos 12, 18 e 24 meses de idade do eucalipto, em função de doses de  $K_2O$ . Três Lagoas/MS, 2013/14.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

## 5 CONCLUSÕES

A adubação nitrogenada propiciou aumento de baixa magnitude para o DAP e o volume de madeira em solo com baixo teor de matéria orgânica, sendo que o crescimento em volume foi advindo do aumento em diâmetro, e a sua máxima produtividade foi obtida com a aplicação de  $83 \text{ kg ha}^{-1}$  de N aos 24 meses.

A adubação fosfatada influenciou o crescimento em DAP, altura e volume do eucalipto, sendo que os incrementos da maior dose em relação à testemunha decresceram com o desenvolvimento da cultura, o que reforça a sua importância na fase inicial do crescimento.

A adubação potássica foi mais pronunciada em relação ao N e P, influenciando o crescimento em DAP, altura e volume do eucalipto, com a máxima produtividade de volume de madeira obtida com a aplicação de  $151 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  aos 24 meses.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. C. R.; LACLAU, J. P.; GONÇALVES, J. L. M.; MOREIRA, R. M.; ROJAS, J. S. D. Índice de área foliar de *Eucalyptus grandis* em resposta à adubação com potássio e sódio. In: SEMINÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARAÍBA DO SUL, 1, Taubaté, 2007. **Anais...** Taubaté: UNITAU, 2007. p. 1-7.
- ALMEIDA, J. C. R. **Nutrição, crescimento, eficiência de uso de água e de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus grandis* fertilizados com potássio e sódio**. 2009. 112 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- ALVAREZ V.; V. H.; ROSCOE, R.; KURIHARA, C. H.; PEREIRA, N. F. Enxofre. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 595-644.
- ALVES, F. F. **Seca de ponteiros e crescimento de clones de eucalipto em diferentes doses de adubação**. 2011. 56 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.
- ANDRADE, G. C.; BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D.; RIZZI, N. E.; GAVA, J. L. Acúmulo de nutrientes na biomassa e na serapilheira de *Eucalyptus grandis* em função da aplicação de lixo urbano e de nutrientes minerais. **Boletim de Pesquisa Florestal**. Colombo, n. 53, p. 109-136, 2006.
- ARAÚJO, E. F.; GAVA, J. L.; SOUZA, A. J.; SILVEIRA, R. L. V. A. Crescimento de clones de *Eucalyptus* em resposta à aplicação de nitrogênio em espodossolo no sul da Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29, 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. p. 1-4.
- ARCAND, M. M.; SHNEIDER, K. D. Plant and microbial bases mechanisms to improve the agronomic effectiveness of phosphate rock: a review. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, Rio de Janeiro, v. 78, p. 791-807, 2006.
- ASSIS, R. L.; FERREIRA, M. M.; CARGNELUTTI FILHO, A. Estado nutricional de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake sob diferentes espaçamentos na região de cerrados de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 36, n. 3, p. 151-157, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF. **Anuário estatístico ABRAF-2013 ano base 2012**. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas.asp>>. Acesso em: 25 nov. 2013.
- BARRETO, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F.; FONSECA, S. Contribuição de reservas orgânicas de N em solos sob plantações de eucalipto. In: SEMANA DE ENGENHARIA FLORESTAL, 2, 2011, Vitória da Conquista. **Anais...** Vitória da Conquista: UESB, 2011. p. 48-54.

- 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 e de B e Zn. **Revista Árvore**, Viçosa, 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 de eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p. 127-186.
- BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F. Fertilidade de solos, nutrientes e produção florestal. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 2, n. 4, p. 76-79, 2005.
- BELLOTE, A. F. J.; SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P.; OLIVEIRA, G. D. Extração e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden em função da idade: 1 - macronutrientes. **IPEF**, Piracicaba, n. 20, p. 1-23, 1980.
- BENATTI, B. P. **Compartimentalização de biomassa e de nutrientes em estruturas de plantas de eucalipto cultivadas em solos distintos**. 2013. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.
- BERGER, R.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; HASELEIN, C. R. Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 75-87, 2002.
- BERTI, C. L. F. **Variação genética, herdabilidades e ganhos na seleção para caracteres de crescimento e forma, em teste de progênes de polinização aberta de *Eucalyptus cloeziana*, aos 24 anos de idade em Luiz Antônio-SP**. 2010. 70 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Sistemas de Produção) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2010.
- BIANCHINI, D. F.; SILVEIRA, R. L. V. A.; ARAÚJO, C.; PINA, J. Resposta do *Eucalyptus globulus* à aplicação de fósforo nas regiões norte e oeste de Portugal. **ADDUBARE**, Piracicaba, v. 6, n. 16, p. 4-5, 2006. Disponível em: <<http://www.rragroflorestal.com.br/addubare/nr016.pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2012.
- BOGNOLA, I. A.; CLASEN, L. A.; FRANCISCON, L.; GAVA, J. L.; DEDECEK, R. A. Aplicação de silicatos de cálcio e de potássio e o crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 66, p. 83-92, 2011.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375-470.
- CASTRO, M. M. **Custo com adubação de plantio de eucalipto (*Eucalyptus* spp.) utilizando programação linear: estudo de caso de uma propriedade rural do Distrito Federal - BR**. 2011. 21 f. Dissertação Parcial (Mestrado em Gestão Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

CIPRIANI, H. N.; VIEIRA, A. H.; MENDES, A. M.; MARCOLAN, A. L. Crescimento inicial de clones de eucalipto em função de doses de P e K em Porto Velho, Rondônia. In: SIMPÓSIO DE CIÊNCIA DO SOLO DA AMAZÔNIA OCIDENTAL, 1, 2012, Humaitá. **Anais...** Humaitá: SBCS, 2012. p. 1-4.

COSTA, M. C. G.; TONINI, H. **Efeito de doses de NPK em plantio de *Eucalyptus camaldulensis* na Savana de Roraima.** Boa Vista: Embrapa, 2011. 8 p. Comunicado técnico, 63.

COSTA, M. C. G.; TONINI, H.; SCHWENGBER, J. A. M.; CANTARELLA, H. Crescimento inicial do *Eucalyptus camaldulensis* em função da adubação NPK. In: FERTBIO2008, 2008, Londrina. **Anais...** Londrina: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2008. 1 CD-ROM.

DIAS, S. C. M.; BARROS FILHO, N. F.; BARROS, N. F. Teores críticos de nutrientes em minijardim clonal de eucalipto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33, 2011, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. 1 CD-ROM.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 91-132.

DELL, B.; MALAJCZUK, D.; XU, D.; GROVE, T. S. **Nutrient disorders in plantation eucalypts.** Camberra: ACIAR, 2001. 188 p.

FARIA, G. E.; BARROS, N. F.; CUNHA, V. L. P.; MARTINS, I. S.; MARTINS, R. C. C. Avaliação da produtividade, conteúdo e eficiência de utilização de nutrientes em genótipos de *Eucalyptus* spp. no Vale do Jequitinhonha, MG. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 3, p. 363-373, 2008.

FERNANDEZ, J. Q. P.; DIAS, L. E.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; MORAES, E. J. Productivity of *Eucalyptus camaldulensis* affected by rate and placement of two phosphorus fertilizers to a Brazilian Oxisol. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 127, p. 93-102, 2000.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 36-41, 2008.

FERREIRA, L. N. **Estudo de tempos e movimentos na operação de adubação de plantio na empresa Eucatex S.A., Botucatu, São Paulo.** 2011. 38 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2011.

GALO, M. V. **Resposta do eucalipto à aplicação de potássio em solo de cerrado.** 1993. 40 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.

GAMA-RODRIGUES, E. F. **Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo e da serapilheira de povoamentos de eucalipto**. 1997. 108 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 1997.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; SANTOS, G. A. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 893-901, 2005.

GAVA, J.L. Efeito da adubação potássica em plantios de *E. grandis* conduzidos em segunda rotação em solos com diferentes teores de potássio trocável. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 11, n. 30, p. 84-94, 1997.

GAVA, J. L.; GONÇALVES, J. L. M.; SHIBATA, F. Y.; CORRADINI, L. Eficiência relativa de fertilizantes fosfatados no crescimento inicial de eucalipto cultivado em solos do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 21, n. 3, p. 497-504, 1997.

GAVA, J. L.; ARAÚJO, E. F.; SILVEIRA, R. L. V. A. Crescimento de clones de *Eucalyptus* em resposta aplicação de nitrogênio em solos com alto teor de matéria orgânica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29, 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: SBCS, 2003. p. 1-3.

GONÇALVES, J. L. M.; RAIJ, B. van.; GONÇALVES, J. C. Florestais. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1997. p. 247-260.

GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; BENEDETTI, V.; FESSEL, V. A. G.; GAVA, J. L. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 3-55.

HÖMHELD, V. Efeito do potássio nos processo da rizosfera e na resistência das plantas às doenças. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2005. p. 301-319.

JESUS, G. L. **Nutrição e produção do eucalipto e frações da matéria orgânica do solo influenciadas por fontes e doses de nitrogênio**. 2008. 74 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

JESUS, G. L.; BARROS, N. F.; SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L.; HENRIQUES, E. P.; LIMA, V. C.; FERNANDES, L. V.; SOARES, E. M. B. Doses e fontes de nitrogênio na produtividade do eucalipto e nas frações da matéria orgânica em solo da região do cerrado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 201-214, 2012.

LEITE, P. B.; ALVAREZ V, V. H.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; GUARÇONI M, A.; ZANÃO JÚNIOR. L. A. Níveis críticos de fósforo, para eucalipto, em casa de vegetação, em função da sua localização no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 5, p. 1311-1322, 2009.



LIMA, I. L.; GARCIA, J. N.; Influência do desbaste e da fertilização nos índices de rachamento após desdobro e secagem em madeira serrada de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 175-184, 2008.

LOPES, A. S.; BASTOS, A. R. R.; DAHER, E. Uso eficiente de fertilizantes nitrogenados e sulfatados na agricultura brasileira: Uma visão do futuro. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI, 2007. p. 161-187.

LUPI, A. M.; FERRERE, P.; FERNÁNDEZ, N.; PATHAUNES, P. Fertilización inicial em *Eucalyptus globulus* Lab. In: CONGRESO FORESTAL ARGENTINO Y LATINOAMERICANO, 3, 2005, Corrientes. **Congreso...** Bueno Aires: AFOA, 2005.

MAEDA, S. **Cultivo do eucalipto: recomendações de adubação mineral**. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 22 mar. 2012.

MAEDA, S.; BOGNOLA, I. A. Influência de calagem e adubação fosfatada no crescimento inicial de eucalipto e nos níveis críticos de P. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 72, p. 401-407, 2012.

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

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 1980. 251 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 317 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, 1995. 888 p.

MATOS, G. S. B.; SILVA, G. R.; GAMA, M. A. P.; VALE, R. S.; ROCHA, J. E. C. Desenvolvimento inicial e estado nutricional de clones de eucalipto no nordeste do Pará. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 42, n. 4, p. 491-500, 2012.

NEVES, T. A.; PROTÁSIO, T. P.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, V. O.; VIEIRA, C. M. M. Avaliação de clones de *Eucalyptus* em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 68, p. 319-330, 2011.

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

NOVAIS, R. F.; RÊGO, A. K.; GOMES, J. M. Níveis críticos de fósforo para eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 6, n. 1, p. 29-37, 1982.

OLIVEIRA NETO, S. N.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; LEITE, H. G.; NEVES, J. C. L. Crescimento e distribuição diamétrica de *Eucalyptus camaldulensis* em diferentes espaçamentos e níveis de adubação na região de cerrado de Minas Gerais. **Floresta**. Curitiba, v. 40, n. 4, p. 755-762, 2010.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; PACHECO, A. R.; DITTMAR, H.; CORDEIRO, C. A. **Estratégias para o melhoramento de eucaliptos tropicais na Embrapa**. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. 29 p.

PAULA, T. A.; LOPES, G. A. Crescimento do eucalipto sob diferentes doses e fontes de fósforo em áreas de cultivo mínimo. **ADDUBARE**, Piracicaba, v. 2, n. 9, p. 7-8, 2003. Disponível em: <<http://www.rragroflorestal.com.br/addubare/nr009.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2013.

PEÑALOZA, E. R. P. **Efecto de la fertilización sobre plantaciones de *Eucalyptus globulus* (Labill.) y *Eucalyptus nitens* (Maiden) de siete años de edad en la comuna de Máfil, provincia de Valdivia**. 2005. 115 f. Dissertação (Profissional de Ingeniero Forestal) - Departamento de Silvicultura, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile, Santiago, 2005.

PINHEIRO, H. S. K. **Adequação do sistema de avaliação da aptidão das terras para plantios de eucalipto**. 2008. 66 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

PINTO, S. I. C. **Cinética de absorção conjunta de fósforo, potássio, cálcio e magnésio e eficiência nutricional de macronutrientes de clones de eucalipto**. 2009. 117 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

PINTO, S. I. C.; FURTINI NETO, A. E.; NEVES, J. C. L.; FAQUIN, V.; MORETTI, B. S. Eficiência nutricional de clones de eucalipto na fase de mudas cultivados em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 523-533, 2011.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Ed. UNESP, 2008. 407 p.

PREVEDELLO, J.; KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; VOGELMANN, E. S.; FONTANELA, E.; REICHERT, J. M. Manejo do solo e crescimento inicial de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden em argissolo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 1, p. 129-138, 2013.

PROCHNOW, L. I.; ALCARDE, J. C.; CHIEN, S. C. Eficiência agrônômica dos fosfatos totalmente acidulados. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 605-663.

PULITO, A. P. **Resposta à fertilização nitrogenada e estoque de nitrogênio biodisponível em solos usados para plantações de *Eucalyptus***. 2009. 59 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

RAIJ, B. van. **Gesso na agricultura**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. 233 p.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: IPNI, 2011. 420 p.

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

RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: IAC, 1997. 285 p. Boletim técnico, 100.

ROCHA, J. H. T.; PRIETO, M. R.; BORELLI, K.; BACKES, C. Índice de sobrevivência e desenvolvimento inicial de mudas de *Eucalyptus urograndis* no campo em função de doses de fósforo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33, 2011, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. 1 CD-ROM.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; LEITE, H. G.; COMERFORD, N. B.; NOVAIS, R. F. Estimativa de biomassa de plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 697-706, 2008a.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; LEITE, H. G.; COMERFORD, N. B. Alocação de nutrientes em plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. esp., p. 2723-2733, 2008b.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Eficiência de utilização de nutrientes e sustentabilidade da produção em procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em sítios florestais do estado de São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 447-457, 2002.

SANTOS, J. C. P. O cultivo de eucalipto como alternativa de renda aos produtores da Região Sul de Mato Grosso do Sul. In: ENCONTRO CIENTÍFICO DE ADMINISTRAÇÃO, ECONOMIA E CONTABILIDADE, 1, 2011, Ponta Porã. **Anais...** Dourados: UEMS, 2011. p. 1-12.

SANTOS, R. C.; CARNEIRO, A. C. O.; CASTRO, A. F. M.; CASTRO, R. V. O.; BIANCHE, J. J.; SOUZA, M. M. CARDOSO, M. T. Correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 90, p. 221-230, 2011.

SCATOLINI, F. M.; FIRME, D. J.; GARCIA, C. H.; GOMES, F. P.; CAMARGO, F. R. A. Parcelamento da adubação potássica em *E. grandis* em áreas de reforma da Votorantim

celulose e papel S.A. In: SOLO-SUELO, 1996, Águas de Lindóia. **Anais... Águas de Lindóia:** SBSCS, 1996. 1 CD-ROM.

SGARBI, F.; SILVEIRA, R. L. V. A.; TAKAHASHI, E. N.; CAMARGO, M. A. F. Crescimento e produção de biomassa de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em condições de deficiência de macronutrientes, B e Zn. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 56, p. 69-82, 1999.

SILVA, P. H. M.; POGGIANI, F.; GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. Volume de madeira e concentração foliar de nutrientes em parcelas experimentais de *Eucalyptus grandis* fertilizadas com lodos de esgoto úmido e seco. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 845-854, 2008.

SILVA, P. H. M. **Impactos das doses e do parcelamento da fertilização na produtividade, lixiviação e ciclagem de nutrientes em plantações de eucalipto**. 2011. 118 f. Tese (Doutorado em Ciências/Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

SILVEIRA, R. L. V. A. **Efeito do potássio no crescimento, nas concentrações dos nutrientes e nas características da madeira juvenil de progênies de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden cultivadas em solução nutritiva**. 2000. 182 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

SILVEIRA, R. L. V. A.; GAVA, J. L. Nutrição e adubação fosfatada em eucalipto. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 495-536.

SILVEIRA, R. L. V. A.; GAVA, J. L.; MALAVOLTA, E. O potássio na cultura do eucalipto. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2005. p. 523-590.

SILVEIRA, R. L. V. A.; HIGASHI, E. N.; SGARBI, F.; MUNIZ, M. R. A. **Seja o doutor do seu eucalipto**. Piracicaba: POTAFOS, 2001. 23 p.

SILVEIRA, R. L. V. A.; MALAVOLTA, E. **Nutrição e adubação potássica em *Eucalyptus***. Informações Agronômicas n. 91, Piracicaba: POTAFOS, 2000. 12p.

SILVEIRA, R. L. V. A.; MALAVOLTA, E. Produção e características químicas da madeira juvenil de progênies de *Eucalyptus grandis* em função de doses de potássio na solução nutritiva. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 63, p. 115-135, 2003.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA - SBS. **Fatos e números do Brasil florestal**. 2006. Disponível em: <<http://www.sbs.org.br>>. Acesso em: 13 fev. 2012.

SOON, Y. K.; MILLER, M. H. Changes in the Rhizosphere due to  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{NO}_3$  fertilization and phosphorus uptake by corn seedlings (*Zea mays* L.). **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 41, n. 1, p. 77-80, 1977.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília, DF: Embrapa, 2004. p. 147-168.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília: Embrapa, 2004. 416 p.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 205-274.

STAHL, J. **Resposta inicial de *Eucalyptus* spp. à adubação fosfatada e potássica no planalto sul catarinense**. 2009. 70 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2009.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G. Production and carbon allocation in a clonal Eucalyptus plantation with water and nutrient manipulations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, n. 3, p. 920-930, 2008.

STAUFFER, M. D.; SULEWSKI, G. Fósforo - Essencial para a vida. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 1-12.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

TAKAHASHI, E. N.; FRANCISCATE, W.; SILVA, A. C.; SILVEIRA, R. L. V. A.; SILVEIRA, R. I. Estudos realizados com a adubação nitrogenada na Votorantim Celulose e Papel mostram ganhos de produtividade em eucalipto. **ADDUBARE**, Piracicaba, v. 3, n. 11, p. 9-12, 2004. Disponível em: <<http://www.rragroflorestal.com.br/addubare/nr011.pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2012.

TEIXEIRA, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; ARTHUR JUNIOR, J. C. Crescimento e partição de matéria seca de mudas de eucalipto em função da adubação potássica e água do solo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 53, n. 310, p. 662-671, 2006.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Revista Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 94-11, 1996.

VALERI, S. V.; FERREIRA, M. E.; MARTINS, M. I. E. G.; BANZATTO, D. A. ALVARENGA, S. F.; CORRADINI, L. VALLE, C. F. Recuperação de povoamento de *Eucalyptus urophylla* com aplicações de nitrogênio, potássio e calcário dolomítico. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 60, p. 53-71, 2001.

VIEIRA, M.; BONACINA, D. M.; SCHUMACHER, M. V.; CALIL, F. N.; CALDEIRA, M. V. W.; WATZLAWICK, L. F. Biomassa e nutrientes em povoamento de *Eucalyptus*

*urograndis* na Serra do Sudeste-RS. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, suplemento 1, p. 2481-2490, 2012.

VIEIRA, A. A. G.; TEIXEIRA, M. B.; LOSS, A.; LIMA, E.; ZONTA, E. Produção de serapilheira e retorno de nutrientes ao solo pela espécie *Eucalyptus urograndis*. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Cruz Alta, v. 4, n. 2, p. 40-43, 2009.

VITAL, B. R.; JESUS, R. M.; VALENTE, O. F. Efeito da constituição química e da densidade da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* na produção de carvão vegetal. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 10, n. 2, p. 151-160, 1986.

WADT, P. G. S.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; DIAS, L. E. Variações no estado nutricional de eucaliptos por influência do material genético e da idade da árvore. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 10, p. 1797-1803, 1999.