

**THIAGO DE SOUZA CELESTRINO**

**EFEITO RESIDUAL E REAPLICAÇÃO DE BORO NA CULTURA  
DO EUCALIPTO (CLONE I144)**

Ilha Solteira

2017

**THIAGO DE SOUZA CELESTRINO**

**EFEITO RESIDUAL E REAPLICAÇÃO DE BORO NA CULTURA DO  
EUCALIPTO (CLONE I144)**

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

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

Ilha Solteira

2017

FICHA CATALOGRÁFICA  
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

C392e Celestrino, Thiago de Souza.  
Efeito residual e reaplicação de boro na cultura do eucalipto (clone I144) /  
Thiago de Souza Celestrino. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2017  
115 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de  
Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade: Sistemas de Produção, 2017

Orientador: Salatiér Buzetti  
Inclui bibliografia

1. Micronutriente. 2. Solubilidade. 3. Eucalyptus spp. 4. Borogran. 5. Ácido  
bórico.



Raiane da Silva Santos  
Supervisora Técnica de Seção

Seção Técnica de Referência, Atendimento ao usuário e Documentação  
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação  
CRB/8 - 9999

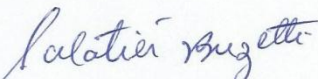
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: Efeito residual e reaplicação de boro na cultura do eucalipto (Clone I144)

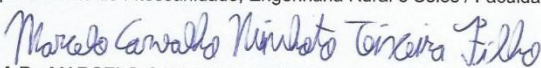
AUTOR: THIAGO DE SOUZA CELESTRINO

ORIENTADOR: SALATIER BUZETTI

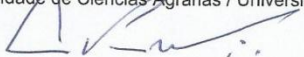
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA, especialidade: SISTEMAS DE PRODUÇÃO pela Comissão Examinadora:

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

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

  
Prof. Dr. MARCELO CARVALHO MINHOTO TEIXEIRA FILHO  
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

  
Profa. Dra. ELISANGELA DUPAS  
Faculdade de Ciências Agrárias / Universidade Federal da Grande Dourados

  
Prof. Dr. GUSTAVO PAVAN MATEUS  
Departamento de Descentralização do Desenvolvimento / Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios

Ilha Solteira, 21 de dezembro de 2017

## **DEDICO**

Aos meus pais, Aurélio Celestrino e Lucilene Barbosa de Souza Celestrino.

À minha noiva, Saelen Rodrigues Penteado.

À minha irmã, Adrielly de Souza Celestrino.

Pessoas de importância ímpar em minha vida, pelo carinho, amor, compreensão e ensinamentos em discernir o certo e errado. Sou eternamente grato.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela saúde e energia que me proporcionou para a realização deste trabalho.

Aos meus pais, meu alicerce, que sempre me apoiaram e estiveram presentes nos momentos em que precisei. Sou eternamente grato.

À minha noiva Saelen Rodrigues Penteadó e família, por todo amor, carinho e respeito que demonstram a mim.

Aos meus familiares, que sempre estão presentes em minha vida.

Ao orientador e amigo professor Salatiér Buzetti, pela confiança, amizade, sugestões e ensinamentos, acadêmicos ou não, que ficarão comigo ao longo desta vida. Muito obrigado por tudo.

Aos professores Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho e Rafael Montanari pela amizade e disposição em ajudar nos momentos em que precisei.

Aos meus “amigos-irmãos” Rodolfo de Niro Gazola e Raíssa Pereira Dinalli Gazola, pela amizade, cumplicidade e motivação no dia-a-dia.

Aos amigos de infância: Danilo Rovaris, Adans, Tabarelli, Caio (*in memoriam*), Lucas Rodrigues, Luís Gustavo e Rodrigo.

À banca do exame geral de qualificação, professores Mario Luiz Teixeira de Moraes e Rafael Montanari pelas sugestões e contribuições ao trabalho. Muito obrigado.

À banca da defesa, professores Marcelo Andreotti, Elisângela Dupas, Gustavo Pavan Mateus e Marcelo C. M. Teixeira Filho, pelas contribuições e sugestões. Muito obrigado.

Aos técnicos dos laboratórios Marcelo Rinaldi da Silva, Carlinhos, João, Selma Maria e Cambuim, sempre dispostos em ajudar nos momentos em que precisei. Muito obrigado.

À Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS/UNESP), corpo docente, direção e administração. Sou eternamente grato pela experiência obtida ao longo deste período acadêmico.

À Supervisora técnica, Raiane dos Santos, pela valiosa ajuda na normatização da tese.

Aos alunos da graduação e pós-graduação que sempre estiveram dispostos em ajudar na condução do experimento: Antônio, Gabriel, Eduardo, Guilherme, William Nishimoto, Willian Rodrigues.

Aos diaristas José de Oliveira e João de Oliveira, pela disponibilidade em ajudar na coleta de dados durante a condução do experimento.

Ao Jefferson dos Santos e Alexandre da Silva, pela colaboração e auxílio na coleta de dados do experimento.

À Cargill Agrícola S/A pela disponibilidade da área.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior - CAPES, pela bolsa de estudo nos primeiros meses do Doutorado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela bolsa de Doutorado e ao relator dos relatórios científicos pelas sugestões e contribuições (Nº Processo: 2014/03387-6).

“Não existe um caminho para ser feliz  
Ser feliz é o caminho”  
Mahatma Gandhi



## RESUMO

Os solos de Cerrado apresentam baixos teores de matéria orgânica e, sendo esta a principal fonte primária de boro (B), torna-se necessário o suprimento deste nutriente via adubação. Portanto, em plantios comerciais de eucalipto, é comum a adubação no sulco de plantio e até mesmo via foliar, durante a fase de implantação da cultura. Sendo assim, é importante verificar se a aplicação de B realizada inicialmente por meio de fontes com diferentes solubilidades é suficiente para atender as exigências da cultura ao longo do ciclo, ou se é necessária a reaplicação do elemento em cobertura. Objetivou-se com esse trabalho comparar o efeito residual das fontes de B aplicadas no sulco de plantio, assim como também a aplicação foliar e a reaplicação de B em cobertura na cultura do eucalipto (clone I144), tendo em vista o alto índice de bifurcação das árvores sem aplicação de B. O experimento foi conduzido na Fazenda Renascença, localizada no município de Três Lagoas/MS, com latitude 20° 34' S e longitude 51° 50' O e altitude de aproximadamente 305 m. O delineamento experimental foi blocos casualizados, com cinco repetições, em esquema fatorial, onde as parcelas foram subdivididas, perfazendo um 3 x 2 x 2, sendo o primeiro fator: 0 kg ha<sup>-1</sup> de B; 1 kg ha<sup>-1</sup> de B utilizando o fertilizante borogran (baixa solubilidade, 10% B), aplicado manualmente em filete contínuo no sulco de plantio; 1 kg ha<sup>-1</sup> de B utilizando o fertilizante ácido bórico (alta solubilidade, 17% B), aplicado manualmente em filete contínuo no sulco de plantio. O fatorial 2 se refere à aplicação ou não de B via foliar. Foram realizadas duas aplicações foliares de B até o primeiro ano de idade da cultura. Em cada aplicação foi utilizado ácido bórico a 0,5 % na calda com volume de 250 L ha<sup>-1</sup>. O último fator 2, se refere às subparcelas que receberam ou não a reaplicação de B aos 34 e 46 meses após o plantio, na projeção da copa, utilizando o fertilizante ácido bórico na dose de 1 kg ha<sup>-1</sup> de B em cada aplicação. Para a aplicação de 1 kg ha<sup>-1</sup> de B no plantio, há a necessidade da reaplicação do nutriente em cobertura, influenciando positivamente o seu teor no solo, no estado nutricional, produtividade de madeira, transferência de B ao solo e concentração no folheto. As reaplicações de B também promoveram o maior acúmulo do nutriente no tronco, reduzindo, assim, a eficiência de uso do B na produção de madeira. Embora houve maior efeito residual de B no solo, em virtude da aplicação do borogran, as fontes de B se comportaram de modo semelhante para as mensurações de produtividade de madeira, concentração foliar, qualidade do fuste e transferência ao solo. Cabe destacar que, mesmo sendo uma dose considerada baixa (1 kg ha<sup>-1</sup> de B), sua aplicação, bem como as aplicações foliares de B, reduziram a porcentagem de bifurcação das árvores. A densidade básica da madeira e o acúmulo de B nas frações (galhos e folhas) não foram influenciados pelo efeito residual das fontes de boro, assim como as aplicações foliares e reaplicações em cobertura.

**Palavras-chave:** Micronutriente. Solubilidade. *Eucalyptus* spp. Borogran. Ácido bórico.

## ABSTRACT

Cerrado soils have low organic matter content, and this being the main primary source of boron (B), it is necessary to supply this element through fertilization. Therefore, in commercial eucalyptus plantations, it is common to fertilize in the planting groove and even via the foliar, during the implantation phase of the crop. Therefore, it is important to verify if the application of B carried out initially is sufficient to meet the crop requirements during the cycle, or if it is necessary to reapply the element under cover. The objective of this work was to compare the residual effect of the B sources applied to the planting groove, as well as the foliar application of the element and the reapplication of B in cover in the eucalyptus crop (clone I144), considering the high index of bifurcation in the treatments that did not receive the application of B. The experiment was conducted at Fazenda Renascença, located in the municipality of Três Lagoas/MS. The experimental design was randomized blocks, with five replications, in a factorial scheme, where the plots were subdivided, making a 3 x 2 x 2, being the first factor: 0 kg ha<sup>-1</sup> of B; 1 kg ha<sup>-1</sup> of B using borogran fertilizer (low solubility, 10% B), manually applied in continuous fillet in the planting groove; 1 kg ha<sup>-1</sup> of B using boric acid fertilizer (high solubility, 17% B), manually applied in continuous fillet in the planting groove. Factorial 2 refers to the application or not of B via foliage. Two foliar applications of B were carried out until the first year of culture. In each application, 0,5% boric acid was used in the syrup with a volume of 250 L ha<sup>-1</sup>. The last factor 2, refers to the subplots that received or not the reapplication of B at 34 and 46 months after planting, in the crown projection, using the boric acid fertilizer at the dose of 1 kg ha<sup>-1</sup> of B in each application. For the application of 1 kg ha<sup>-1</sup> of B in the plantation, there is a need for reapplication of the covering element, positively influencing the soil element content, nutritional status of the crop, wood productivity, soil B transfer and soil concentration. element not leafed. The reapplications of B also promoted the greater accumulation of the element in the trunk of wood, thus reducing the efficiency of use of B in the production of wood. Although there was a greater residual effect of B in the soil due to borogran application, the sources of B behaved similarly to the measurements of wood productivity, leaf concentration, stem quality and soil transfer. It should be noted that even though a dose considered low (1 kg ha<sup>-1</sup> of B), its application, as well as the foliar applications of B, reduced the percentage of bifurcation of the trees. There is a higher concentration of B in lower leaves of the crown when compared to the upper leaves, indicating, therefore, the low mobility of the element in the phloem. The basic wood density and the accumulation of B in the fractions (branches and leaves) were not influenced by the residual effect of the boron sources, as well as the foliar applications and reapplication of the cover element.

**Keywords:** Micronutrient. Residual effect. Solubility. *Eucalyptus* spp. Borogran. Boric acid.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 A** - Precipitação pluvial mensal (mm) registrada na Estação Meteorológica Automática de Três Lagoas – MS, durante a condução do experimento, 2012/2013..... 32
- Figura 1 B** - Precipitação pluvial mensal (mm) registrada na Estação Meteorológica Automática de Três Lagoas – MS, durante a condução do experimento, 2014/2015.....33
- Figura 1 C** - Precipitação pluvial mensal (mm) registrada na Estação Meteorológica Automática de Três Lagoas – MS, durante a condução do experimento, 2016/2017.....33
- Figura 2** - Derrubada das árvores aos 66 meses após o plantio (A). Desfolha das árvores abatidas (B). Pesagem das toras no campo (C). Três Lagoas/MS, 2017.....38
- Figura 3** - Coletores de nylon fixados em quatro árvores. Três Lagoas/MS, 2017.....39
- Figura 4** - Clone I144 aos 24 meses de idade sem aplicação de B via solo e foliar. Três Lagoas/MS, 2014.....41
- Figura 5** - Tanque de PVC preenchido com água para a saturação dos discos. Ilha Solteira/SP, 2017.....42
- Figura 6** - Balança hidrostática utilizada para quantificar a massa úmida (Pu) (A) e massa imersa (Pi)(B). Ilha Solteira/SP, 2017.....42

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Análise granulométrica do solo da área experimental. Três Lagoas/MS, 2011.....34
- Tabela 2** - Atributos químicos do solo inicial da área experimental. Três Lagoas/MS, 2011.....34
- Tabela 3** - Tratamentos no esquema fatorial 3 x 2 em parcelas subdivididas (2), Três Lagoas/MS.....37
- Tabela 4** - Teores de macronutrientes no solo na linha de plantio do eucalipto, nas profundidades de 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m após 36 meses do plantio, em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2015.....45
- Tabela 5** - Teores de macronutrientes no solo na linha de plantio do eucalipto, nas profundidades de 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m, após 60 meses do plantio, em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2017.....46
- Tabela 6** - Teores de macronutrientes no solo na entrelinha de plantio do eucalipto, nas profundidades de 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m após 36 meses do plantio, em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2015.....48
- Tabela 7** - Teores de macronutrientes no solo na entre linha de plantio do eucalipto, nas profundidades de 0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m, após 60 meses do plantio, em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2017.....49
- Tabela 8** - Teores de micronutrientes no solo na linha de plantio do eucalipto, nas profundidades de 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m após 36 meses do plantio, em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2015.....51
- Tabela 9** - Teores de boro no solo na linha de plantio do eucalipto, nas profundidades de 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m, após 48 meses do plantio, em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2016.....52
- Tabela 10** - Teores de micronutrientes no solo na linha de plantio do eucalipto, nas profundidades de 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m após 60 meses do plantio, em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2017.....54
- Tabela 11** - Teores de micronutrientes no solo na entre linha de plantio do eucalipto, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm após 36 meses do plantio, em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2015.....56
- Tabela 12** - Teores de boro no solo nas entrelinhas de plantio do eucalipto, nas profundidades de 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m após 48 meses do plantio, em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2016.....57
- Tabela 13** - Teores de micronutrientes no solo na entre linha de plantio do eucalipto, nas profundidades de 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m após 60 meses do plantio, em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2017.....59

<b>Tabela 14</b> - Concentrações de macronutrientes em folhas de eucalipto aos 30 meses após o plantio em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2014.....	60
<b>Tabela 15</b> - Concentrações de macronutrientes em folhas de eucalipto aos 36 meses após o plantio em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2015.....	61
<b>Tabela 16</b> - Concentrações de macronutrientes em folhas de eucalipto aos 42 meses após o plantio em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2015.....	63
<b>Tabela 17</b> - Concentrações de macronutrientes em folhas de eucalipto aos 66 meses após o plantio em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2017.....	64
<b>Tabela 18</b> - Concentrações de micronutrientes em folhas de eucalipto aos 30 meses após o plantio em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2014.....	65
<b>Tabela 19</b> - Concentrações de micronutrientes em folhas de eucalipto aos 36 meses após o plantio em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2015.....	67
<b>Tabela 20</b> - Concentrações de micronutrientes em folhas de eucalipto aos 42 meses após o plantio em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2015.....	69
<b>Tabela 21</b> - Concentrações de micronutrientes em folhas de eucalipto aos 66 meses após o plantio em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2017.....	70
<b>Tabela 22</b> - Concentrações de B inferior e superior em folhas de eucalipto aos 66 meses após o plantio em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2017.....	71
<b>Tabela 23</b> - Acúmulo de B no tronco, galhos e folhas do eucalipto aos 66 meses após o plantio em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2017.....	73
<b>Tabela 24</b> - Eficiência de utilização do B no eucalipto aos 66 meses após o plantio em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2017.....	76
<b>Tabela 25</b> - Concentrações de boro no folheto de eucalipto aos 30, 33, 36, 39, 42, 45 e 48 meses após o plantio em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2014/16.....	77
<b>Tabela 26</b> - Concentrações de boro no folheto de eucalipto aos 51, 54, 57, 60, 63 e 66 meses após o plantio em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2016/17.....	79
<b>Tabela 27</b> - Quantidade de boro transferido ao solo pela deposição de folheto de plantas de eucalipto aos 30, 33, 36, 39, 42, 45 e 48 meses após o plantio em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2014/16.....	80
<b>Tabela 28</b> - Quantidade de boro transferido ao solo pela deposição de folheto de plantas de aos 51, 54, 57, 60, 63 e 66 meses após o plantio em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2016/17.....	82

<b>Tabela 29</b> - Valores médios de altura do eucalipto em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2014/17.....	83
<b>Tabela 30</b> - Valores médios de diâmetro a altura do peito (DAP) do eucalipto em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2014/17.....	86
<b>Tabela 31</b> - Valores de volume de madeira com casca de eucalipto em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2014/17.....	89
<b>Tabela 32</b> - Porcentagem de árvores bifurcadas do eucalipto em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2014/16.....	93
<b>Tabela 33</b> - Densidade básica de madeira do eucalipto aos 66 meses após o plantio em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2017.....	96

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>Cultura do eucalipto e sua importância econômica</b>	<b>17</b>
<b>2.2</b>	<b>Micronutrientes e diagnose foliar</b>	<b>19</b>
<b>2.3</b>	<b>Boro no solo</b>	<b>21</b>
<b>2.4</b>	<b>Boro na planta</b>	<b>19</b>
<b>2.4.1</b>	<i>Transporte de boro no solo, absorção e redistribuição</i>	<b>22</b>
<b>2.4.2</b>	<i>Funções e deficiência</i>	<b>23</b>
<b>2.5</b>	<b>Recomendações para as fontes de boro</b>	<b>26</b>
<b>2.6</b>	<b>Ciclagem de nutrientes</b>	<b>30</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>32</b>
<b>3.1</b>	<b>Descrições da área experimental</b>	<b>32</b>
<b>3.2</b>	<b>Atividades silviculturais</b>	<b>34</b>
<b>3.3</b>	<b>Delineamento experimental e tratamentos</b>	<b>36</b>
<b>3.4</b>	<b>Teores de nutrientes no solo</b>	<b>37</b>
<b>3.5</b>	<b>Concentrações dos nutrientes nas folhas</b>	<b>37</b>
<b>3.6</b>	<b>Boro acumulado na biomassa</b>	<b>38</b>
<b>3.7</b>	<b>Eficiência no uso de boro</b>	<b>39</b>
<b>3.8</b>	<b>Concentração de boro no folheto</b>	<b>39</b>
<b>3.9</b>	<b>Avaliações dendrométricas do eucalipto</b>	<b>40</b>
<b>3.10</b>	<b>Porcentagem de árvores bifurcadas</b>	<b>41</b>
<b>3.11</b>	<b>Densidade básica da madeira</b>	<b>41</b>
<b>3.12</b>	<b>Análises dos dados</b>	<b>43</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>44</b>
<b>4.1</b>	<b>Fertilidade do solo</b>	<b>44</b>
<b>4.1.1</b>	<i>Teores de macronutrientes na linha de plantio</i>	<b>44</b>
<b>4.1.2</b>	<i>Teores de macronutrientes na entrelinha de plantio</i>	<b>47</b>
<b>4.1.3</b>	<i>Teores de micronutrientes na linha de plantio</i>	<b>50</b>
<b>4.1.4</b>	<i>Teores de micronutrientes na entrelinha de plantio</i>	<b>55</b>
<b>4.2</b>	<b>Concentração dos nutrientes nas folhas</b>	<b>59</b>
<b>4.2.1</b>	<i>Macronutrientes</i>	<b>59</b>

4.2.2	<i>Micronutrientes</i>	64
4.3	<b>Acúmulo de B na biomassa</b>	73
4.4	<b>Eficiência de utilização do boro</b>	75
4.5	<b>Concentração de B no folheto e transferência de B para o solo</b>	77
4.6	<b>Avaliações dendrométricas do eucalipto</b>	82
4.6.1	<i>Altura de árvores</i>	82
4.6.2	<i>Diâmetro à altura do peito (DAP)</i>	86
4.6.3	<i>Volume de madeira com casca</i>	89
4.7	<b>Qualidade do fuste</b>	92
4.8	<b>Densidade básica da madeira</b>	95
5	<b>CONCLUSÕES</b>	99
	<b>REFERÊNCIAS</b>	100



## 1 INTRODUÇÃO

A área com florestas plantadas no Brasil em 2016 para fins industriais foi de 7,84 milhões de hectares, onde 72,7% correspondem aos plantios de eucalipto, localizados principalmente nos Estados de Minas Gerais (24%), São Paulo (17%) e Mato Grosso do Sul (15%) (Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ, 2017). Conhecida pela elevada produtividade de madeira quando comparado a outros Países, a eucaliptocultura no Brasil apresenta incremento médio de  $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de madeira com casca, com amplitude entre 25 e  $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , dependendo das condições edafoclimáticas (GONÇALVES et al., 2015). Assim, dentre os motivos para este patamar produtivo, cabe destacar os investimentos das empresas do setor florestal em pesquisas acerca do melhoramento genético, proporcionando alocação sítio-específica dos genótipos, e das técnicas de manejo florestal (IBÁ, 2015).

Aplicações de corretivos e fertilizantes vêm se tornando prática obrigatória no manejo florestal (NOVAIS; BARROS; NEVES, 1990), sendo constatados ganhos em produtividade de madeira em função destas aplicações (LACLAU et al., 2010; GONÇALVES, 2011). Uma das razões para utilização dessas técnicas foi a expansão florestal em regiões do bioma Cerrado, cujas características são: o predomínio de acentuada restrição nutricional, altos teores de alumínio no solo e baixa disponibilidade hídrica (PAVAN, 2003).

As pesquisas acerca do uso de fertilizantes em essências florestais voltaram-se principalmente aos nutrientes primários (nitrogênio [N], fósforo [P] e potássio [K]), sendo alvos de calibrações de doses em plantações de eucaliptos. Nesse sentido, existe carência a respeito dos micronutrientes, onde, possivelmente, com a inserção de clones mais exigentes em termos nutricionais, houve a maior frequência de sintomas de deficiência desses micronutrientes. Dentre eles, o boro (B) é o que proporciona a maior limitação na produtividade do eucalipto (GONÇALVES et al., 2015). Segundo esses autores, solos intemperizados, oriundos de rochas sedimentares, com textura grosseira e baixo teor de matéria orgânica (M.O.), e longos períodos com deficiência hídrica, são os fatores que predisõem à deficiência de B.

Segundo Camargo (2006), a textura e componentes da fração argila desempenham papel fundamental na disponibilidade de B às plantas. O teor desse nutriente em solos de textura arenosa, caracterizado pelo baixo teor de M.O., sendo esta a principal fonte de B, possivelmente não é suficiente para suprir as exigências da cultura ao longo do ciclo vegetativo (PORTELA; VALE; ABREU, 2015).

O sintoma típico de deficiência de B em florestas de eucalipto é a morte do ponteiro (também conhecido como “seca do ponteiro”), com o superbrotamento das gemas laterais ao longo do caule, em virtude da morte da gema apical e a perda de dominância, resultando assim, na bifurcação do tronco (SILVEIRA et al., 2002). Segundo Gonçalves et al. (2015), tais sintomas aparecerem no primeiro ano de crescimento da cultura durante a estação seca, embora também ocorra no segundo e terceiro ano de crescimento com menor intensidade. Esta menor gravidade dos sintomas se deve ao maior volume de solo explorado pelo sistema radicular, bem como pela maior ciclagem biogeoquímica após o fechamento da copa. Contudo, há evidências que a deficiência deste nutriente tem efeito marcante na produtividade das culturas, mesmo quando os sintomas não estão visíveis (PERICA et al., 2001; ASAD; BLAMEY; EDWARDS, 2003).

A solubilidade das fontes de micronutrientes, associada às condições do solo, proporciona interação de maior ou menor efeito da adubação na correção da deficiência nutricional (MORAES et al., 2004). Deste modo, para a aplicação de B na cultura do eucalipto, alguns autores preconizam a utilização de fontes menos solúvel em água (MORTVEDT, 1994; SILVEIRA et al., 2002; GONÇALVES, 2011) em solos de textura arenosa, onde há maiores perdas por lixiviação deste micronutriente. A fim de reduzir tais perdas, Silveira e Couto (1997) recomendam o parcelamento das doses, quando se faz a utilização de fontes mais solúvel em água, a exemplo, o ácido bórico.

Em solos de Cerrado que apresentam baixo teor de M.O., é comum a adubação boratada no sulco de plantio, na fase de implantação da cultura, e, em regiões com déficit hídrico prolongado, José et al. (2009) relataram que a suplementação de B via foliar pode ser uma estratégia, visando suprir a necessidade da cultura, pois a absorção do nutriente pela raiz ocorre com menor intensidade neste período, em virtude do menor fluxo transpiracional.

Neste contexto, é importante verificar se a aplicação de B realizada inicialmente, com fontes de diferentes solubilidades, é suficiente para atender as exigências da cultura ao longo do ciclo, ou se é necessária a reaplicação do nutriente em cobertura. Sendo assim, objetivou-se comparar o efeito residual de fontes de B no sulco de plantio, bem como da aplicação foliar de B, e as reaplicações em cobertura, na cultura do eucalipto.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Cultura do eucalipto e sua importância econômica

O gênero *Eucalyptus* spp, natural da Austrália, pertence à divisão Angiospermae, classe Dicotyledonea, ordem Myrtales, família Myrtaceae, com muitas espécies e subespécies naturais ou decorrentes da hibridação (BERTOLUCCI, 1995). Cultura esta que se adaptou às condições edafoclimáticas, apresentando rápido crescimento em período relativamente curto, excelente qualidade da madeira para diversos fins, além da redução sobre florestas nativas (BERGER, 2002; FONSECA et al., 2010; VIERA et al., 2012).

De acordo com Santana et al. (2008), a produção florestal é determinada pela quantidade de radiação solar interceptada pela copa e eficiência de conversão dessa radiação em biomassa. Tal eficiência é influenciada pela disponibilidade de água e nutrientes. A limitação nutricional, embora dificulte o estabelecimento inicial do eucalipto, pode ser superada com práticas corretivas e utilização de fertilizantes, enquanto que, a melhoria das condições de água no solo, depende de práticas conservacionistas e, ou, da seleção de materiais genéticos adaptados às condições hídricas limitantes (CHAVES et al., 2004; REIS et al., 2006).

O eucalipto no Brasil, mundialmente conhecido pelo elevado volume de madeira produzido por área ao ano, obteve em 2016, capacidade produtiva média de 35,7 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de madeira (Indústria Brasileira de Árvores – IBÁ, 2017). A maioria dos plantios florestais utilizam clones, sendo estes, geralmente, tolerantes às doenças ou adversidades climáticas, além do rápido crescimento e excelente qualidade de madeira, conforme mencionado anteriormente (VALERI et al., 2001; BENATTI, 2013). O híbrido resultante do cruzamento de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, popularmente conhecido como *E. urograndis*, é o mais utilizado em indústrias de papel e celulose (ABRAF, 2011).

Para a produção de bioenergia, os clones I144 e I220 são os mais indicados, pois apresentam maiores valores de densidade básica da madeira, além do elevado teor de lignina, qualificando-os para a produção de carvão vegetal (NEVES et al., 2011). Estudando esses clones, Protásio et al. (2014) constataram que o clone I144, híbrido espontâneo de *E. urophylla*, proporcionou maior produtividade de madeira quando comparado ao clone I220. Todavia, a densidade básica de madeira do clone mais produtivo foi 14% inferior ao clone menos produtivo. Neste contexto, é importante que a qualidade da madeira seja incorporada na seleção de clones de eucalipto com a finalidade bioenergética (TRUGILHO et al., 2001).

Existem também diferenças entre clones quanto à eficiência nutricional, onde, de acordo com Pinto (2009), o clone I144 foi o mais eficiente na absorção e utilização de N, P, K, magnésio (Mg) e enxofre (S) para a produção de biomassa, sugerindo sua adaptação em solos de menor fertilidade. Assim, Alves (2011) preconiza recomendações de adubações específicas, considerando o material genético, haja vista a variabilidade quanto à exigência nutricional dos clones.

Silva (2011) comentou que recomendações de adubações precisam ser reavaliadas, uma vez que, com a inserção de clones mais produtivos, possivelmente há maior demanda nutricional que os clones utilizados para gerar a recomendação atual. A exemplo, Silveira e Couto (1997) relataram que doses de  $1 \text{ kg ha}^{-1}$  de B eram aplicadas, de modo geral, em plantios de eucaliptos. Contudo, doses como aquelas são consideradas baixas, principalmente em solos de textura arenosa com baixo teor de M.O. Em regiões com baixa a moderada deficiência hídrica, Gonçalves et al. (2015) preconizam aplicações de 2 a  $3 \text{ g planta}^{-1}$  de B.

O setor de produção florestal se divide em cadeias produtivas que são: madeira industrial (celulose, papel e painéis de madeira reconstituída), processamento mecânico da madeira (serrados e compensados) e madeira para energia (lenha e carvão vegetal). Sua cadeia produtiva abrange as etapas de produção de madeira, energia, celulose e papel, conversão em artefatos de papel e papelão, reciclagem de papel, produção gráfica e editorial, além do comércio, distribuição e transporte (ABRAF, 2011).

Em 2016, o Produto Interno Bruto (PIB) do setor brasileiro de árvores plantadas foi impactado pela crise econômica nacional, apresentando decréscimo de 3,3% em relação ao ano anterior. Contudo, este decréscimo é aquém ao recuo verificado na economia brasileira (-3,6%), indústria (-3,8%) e na agropecuária (-6,6%). Em relação ao PIB brasileiro, o setor de árvores plantadas participou de 1,1% de toda riqueza gerada no Brasil e 6,2% no PIB industrial (IBÁ, 2017).

Em termos geográficos, os plantios florestais sul-mato-grossenses estão concentrados nos municípios de Três Lagoas, Ribas do Rio Pardo, Água Clara, Brasilândia e Selvíria, abrangendo área de 3 milhões de hectares com predomínio de solos arenosos e baixa fertilidade natural (ASSOCIAÇÃO SUL-MATO-GROSSENSE DE PRODUTORES E CONSUMIDORES DE FLORESTAS PLANTADAS - REFLORE, 2013). Diante disso, verifica-se que o bioma Cerrado, com predomínio de solos de baixa fertilidade e com deficiência hídrica, em pelo menos parte do ano, têm sido frequentemente utilizado para o plantio do eucalipto (ALVES, 2011).

## 2.2 Micronutrientes e diagnose foliar

A aplicação de micronutrientes via solo tem como objetivo aumentar a concentração dos nutrientes na solução do solo, que é onde as raízes os absorvem. Sendo assim, para evitar possíveis perdas, é necessário que as fontes utilizadas se solubilizem no solo, no mínimo, em velocidade compatível com a absorção pelas raízes (LOPES, 1991; VOLKWEISS, 1991).

Assim como as raízes, as folhas também têm capacidade de absorver os nutrientes depositados na forma de solução em sua superfície. Diante disso, surgiu a prática da adubação foliar, em que soluções de um ou mais nutrientes são pulverizadas sobre a parte aérea das plantas, atingindo principalmente as folhas (VOLKWEISS, 1991). Contudo, tal prática não deve ser adotada como técnica principal para o fornecimento de nutrientes (VALERI; CORRADINI, 2000). Segundo Del Quiqui et al. (2004), a aplicação foliar de micronutrientes não tem sido regularmente utilizada em plantios de eucalipto, pois o seu rápido crescimento limita a operacionalidade da aplicação foliar, principalmente em atingir os galhos da extremidade, local onde os sintomas de deficiência são mais comuns. Para o B, em virtude da imobilidade no floema em algumas espécies, é discutível sua aplicação nas folhas (FAQUIN, 2005). As informações acerca da fertilização foliar florestal são escassas; logo, serão necessários mais estudos que comprovem eficiência deste modo de aplicação de B (DAHMARDEH; MEHRAVARAN; NADERI, 2011).

José et al. (2009), estudando clones de eucaliptos em casa de vegetação, verificaram mobilidade de B, e concluíram que a aplicação foliar de B pode ser uma alternativa para recuperação rápida de plantas com sintomas de deficiência do nutriente. Contudo, Malavolta e Kliemann (1985) relataram que, devido à imobilidade no floema de alguns micronutrientes, tem-se maior eficiência da adubação via solo quando comparado à aplicação foliar, além do maior efeito residual do nutriente no solo.

Segundo Rodrigues et al. (2012), em regiões do Cerrado, com a inserção de clones de eucaliptos mais produtivos e possivelmente exigentes nutricionalmente, o B, cobre (Cu) e zinco (Zn) são os micronutrientes que merecem maior atenção, tendo em vista a maior ocorrência de sintomas de deficiências em áreas comerciais. Assim como o B, o Cu também causa prejuízos físicos nas plantações de eucalipto, dificultando a colheita se esta realizada mecanicamente. As árvores com tal deficiência apresentam galhos alongados e frágeis, quebrando-se com facilidade e, assim, danificando a copa. A deficiência de Zn é comum em períodos secos, com árvores com reduzido tamanho, entrenós mais curtos e folhas novas pequenas e afiladas (MARSCHNER, 1995; DELL et al., 2001).

Os micronutrientes recomendados por Silveira, Higashi e Pompermayer (1998) na adubação de base no plantio de eucalipto são Cu, Zn e B. Gonçalves, Rajj e Gonçalves (1997) preconizam aplicação de  $1,5 \text{ kg ha}^{-1}$  de Zn em solos com baixos teores do nutriente ( $\text{Zn} < 0,6 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e  $1 \text{ kg ha}^{-1}$  de B em solos com baixos teores de B ( $\text{B} < 0,21 \text{ mg dm}^{-3}$ ). Galvão (2002) recomendou até  $2 \text{ kg ha}^{-1}$  de Cu aplicados diretamente nas covas ou sulcos de plantio em solos com teores menores que  $0,2 \text{ mg dm}^{-3}$  de Cu.

Embora requeridos em menores quantidades, os micronutrientes desempenham funções primordiais para o desenvolvimento da cultura. Dell (1994) verificou estreita relação entre teor de Cu no caule e a lignificação de brotos de mudas de *E. maculata*. O autor constatou que maiores taxas de lignificação foram proporcionais à concentração desse nutriente no caule.

Novais, Barros e Neves (1990) verificaram que, para o crescimento inicial das mudas de eucalipto, os micronutrientes B e Zn são de extrema importância. Contudo, há a necessidade de suprimento adequado de água para que ocorra o transporte dos elementos até a superfície das raízes.

Os micronutrientes, que há décadas não se tinha grandes preocupações em programas de adubação, passaram a ser utilizados de modo mais rotineiro em várias regiões e para as mais diversas condições de solo, clima e culturas no Brasil (LOPES, 1999). Segundo esse autor, os fatores que resultaram no maior interesse pela presença de micronutrientes em formulações de fertilizantes foram: o início da ocupação dos Cerrados, cujos solos são deficientes em micronutrientes; o aumento da produtividade de diversas culturas e possivelmente maior extração dos nutrientes; a utilização de fertilizantes com alta concentração de macronutrientes e cada vez menos com a presença de micronutrientes e, por fim, o aprimoramento das técnicas de análise de solo e foliar, sendo comumente utilizados para o monitoramento do estado nutricional da cultura.

De acordo com Bellote e Silva (2000), vários autores verificaram que a folha é a estrutura vegetativa que melhor reflete o estado nutricional da planta. Para a cultura do eucalipto, foi constatado que a folha é o local de maior concentração dos nutrientes, exceto cálcio (Ca), com maior concentração na casca. (BELLOTE, 1979; POGGIANI; COUTO; SUITER FILHO, 1983; SILVA, 1983; PEREIRA et al., 1984).

Considerando a diagnose foliar como importante ferramenta na tomada de decisão, Bellote e Silva (2000) comentaram que os diferentes pontos de coleta foliar, bem como a época de amostragem, podem influenciar a concentração foliar dos nutrientes. Como

consequência, há uma falta de padronização dos resultados, dificultando a comparação entre trabalhos.

### 2.3 Boro no solo

Na fase sólida do solo, o B é encontrado em três formas: nos minerais silicatados e adsorvido em argilominerais e na M.O.; e nos hidróxidos de Al e Fe (DECHEN; NACHTIGALL, 2006). Existem fatores edafoclimáticos que influenciam na disponibilidade de B às plantas, dentre eles: pH, textura, umidade, temperatura, M.O., quantidade e tipos de argila (SILVEIRA et al., 2002).

O B encontrado na solução do solo em condições de pH neutro, sob a forma de ácido bórico, formando complexos com Ca ou ligados a compostos orgânicos solúveis, é a principal forma de absorção do nutriente (DECHEN; NACHTIGALL, 2006). A redução de B na solução do solo, interferindo na sua disponibilidade, é devido ao aumento da adsorção deste nutriente na superfície dos colóides do solo à medida que aumenta o pH do meio, sendo a máxima fixação entre pH 8 e 9 (DECHEN; NACHTIGALL, 2006; MALAVOLTA, 2006).

A textura e componentes da fração argila desempenham papel fundamental para que o B se encontre disponível às plantas (CAMARGO, 2006). Solos de textura arenosa, embora apresentem reduzida adsorção coloidal de B, é caracterizado pelo baixo teor de M.O, sendo esta a principal fonte de B. Portela, Vale e Abreu (2015) relataram que, possivelmente, o teor de B nesses solos não seja suficiente para suprir a demanda do eucalipto durante o ciclo vegetativo. Outra questão a ser considerada em solos arenosos é a maior possibilidade de lixiviação quando comparado aos solos argilosos (DECHEN; NACHTIGALL, 2006).

Solos argilosos propiciam maiores teores de B, sendo este proporcional ao teor de M.O. Contudo, tais solos necessitam de doses maiores para a mesma disponibilidade do nutriente, quando comparado aos solos arenosos (RAMOS et al. 2009). De acordo com Elrashidi e O'Connor (1982), essa maior dose de B aplicada se deve à adsorção de B aos óxidos de Fe e Al presentes em maiores concentrações nos solos argilosos.

A M.O. é considerada a principal fonte de B em solos tropicais, uma vez que o B assimilado pela planta é quase totalmente originado de sua mineralização (MALAVOLTA, 1980; GUPTA, 1993). Isto fica evidente em resultados de trabalhos como os encontrados por Vanderlei et al. (1988) e Malavolta (1980), os quais observaram relação positiva entre a quantidade de M.O e o teor de B disponível, sendo as maiores concentrações de B em camadas superficiais do solo. Vale ressaltar que solos tropicais, geralmente, apresentam

baixos teores de M.O., pois os microrganismos mesófilos e termófilos são favorecidos pela alta temperatura; logo, maior velocidade de decomposição da M.O., o que dificulta a manutenção de teores elevados no solo (SANCHEZ, 1981).

Embora a mineralização da M.O. contribua como fonte natural de B para as plantas, regiões que apresentam déficit hídrico, como o Cerrado, proporcionam também redução desta mineralização, em virtude da limitada atividade dos microrganismos no período outono/inverno. Tal situação, associada à intensificação da silvicultura clonal, decorre a necessidade de fornecimento de B, haja vista a maior exigência nutricional dos clones, fato este comprovado pelo aparecimento dos sintomas de deficiência de B em plantios comerciais (RODRIGUES et al., 2010).

Outro fator que influencia a disponibilidade de B para as culturas é o fluxo de massa, sendo este o mecanismo predominante de contato íon-raiz, chegando a suprir quase 100 % das necessidades das plantas (MATTIELLO et al., 2009). Esses autores relataram que o déficit hídrico altera o balanço dos mecanismos de transporte de B no solo, principalmente em solos deficientes de B, reduzindo assim o fluxo de massa e o acúmulo de B na planta. Solos arenosos sob tais condições hídricas limitadas proporcionam redução rápida da condutividade hidráulica, quando comparado aos solos argilosos (LIBARDI, 2005). De acordo com Ramos et al. (2009), o mecanismo de contato íon-raiz (fluxo de massa) se correlaciona diretamente com a condutividade hidráulica do solo.

## **2.4 Boro na planta**

### ***2.4.1 Transporte de boro no solo, absorção e redistribuição***

O transporte de B no solo, absorção e redistribuição na planta são importantes componentes para o entendimento do comportamento desse elemento no sistema solo-planta (MATTIELLO, 2008). Segundo o autor, a baixa eficiência da adubação boratada pode ser influenciada pela restrição hídrica do solo. A água é o principal veículo no processo de transporte do nutriente presente no solo até a raiz, sendo este predominantemente por fluxo de massa. Sabe-se que o menor fluxo transpiracional limita a absorção de B à planta, mesmo este presente na solução do solo (MALAVOLTA et al., 1997; MATTIELLO et al., 2009). Desse modo, o movimento de B junto ao fluxo transpiracional provavelmente seja a razão para os sintomas visuais de deficiência em pontos de crescimento, onde há menor fluxo transpiracional (DECHEN; NACHTIGALL, 2006).



A absorção é conceituada como a passagem do nutriente do meio externo da planta, na forma iônica ou molecular, para o espaço intercelular. Esta ocorre tanto no sistema radicular como via foliar, entretanto, a raiz é o principal local de absorção dos nutrientes (BOARETTO; MORAOKA; BOARETTO, 2003). O principal mecanismo de contato íon-raiz deste nutriente é o fluxo de massa, o que faz com que, dependendo da quantidade de B presente na solução, quantidades tóxicas possam ser absorvidas pelas plantas (DECHEN; NACHTIGALL, 2006).

A forma de B comumente absorvida pela planta é o ácido bórico ( $B(OH)_3$ ), sendo assim transportado para a parte aérea via xilema (DECHEN; NACHTIGALL, 2006). Considerado ácido fraco, presente na forma molecular e não iônica, o ácido bórico é caracterizado pela baixa adsorção aos colóides do solo, sendo, portanto, lixiviado em condições de maior disponibilidade hídrica em solos arenosos (MATTIELLO, 2008).

A mobilidade é definida como o movimento do nutriente dentro da planta e refere-se ao processo de transporte e redistribuição dos nutrientes nos vegetais. Acreditava-se que o B era acumulado em pontos de crescimento de folhas e ramos, permanecendo imóvel na planta após o transporte via xilema (BROWN; HU, 1998). Contudo, pesquisas verificaram que, em algumas culturas, há mobilidade condicional do B no floema. Mattiello et al. (2009) relataram que a maior concentração de B em folhas maduras poderia ser indicativo de redistribuição restrita de B; logo, maior concentração do elemento em folhas jovens sugere-se a redistribuição do nutriente.

De acordo com Hu e Brown (1997), a mobilidade no floema é encontrada apenas em espécies que sintetizam quantidades significativas de polióis (açúcares simples) como metabólito fotossintético, a exemplo, o sorbitol, manitol e dulcitol. Nesse sentido, a formação de complexos poliól-B-poliol nos tecidos fotossintéticos, facilitam o transporte de B no floema até os drenos ativos, como meristemas vegetativos e reprodutivos (HU et al., 1996). Leite, Marino e Bonine (2010) verificaram gradiente de concentração de B entre folhas de eucalipto de diferentes idades e posição na planta. Os autores constataram que o teor foliar de B na região apical do caule foi significativamente superior ao da região basal, evidenciando, assim, mobilidade condicional de B em eucalipto.

#### **2.4.2 Funções e deficiência**

Embora a função do B no metabolismo vegetal ainda não seja totalmente clara, há evidências que o elemento apresenta funções no alongamento celular, transporte de açúcares, síntese de ácidos nucléicos, respostas hormonais, integridade e funcionamento de membranas,

regulação do ciclo celular e diminuição da toxicidade de alumínio (MARSCHNER, 1995; BROWN et al., 2002; REGUERA et al., 2009).

A deficiência deste nutriente pode ser classificada em: primária – mudança na composição química e estrutural da parede celular, com inibição da síntese de lignina, diminuição da concentração de AIA (ácido indol acético) e mudanças fisiológicas e morfológicas entre a parede celular e membrana plasmática; e secundária – peroxidação da membrana plasmática, com mudanças na distribuição de carboidratos e alterações no metabolismo de fitormônios, RNA e DNA (BROWN; HU, 1996).

A importância do B em plantios florestais está associada à qualidade da madeira, pois este nutriente atua no crescimento meristemático e na formação da parede celular, mais especificamente na síntese de pectina, lignina e celulose (MARSCHNER, 1995). Bell e Dell (2008) relataram que, a nível molecular, há formação de ligações cruzadas de B com pectinas da parede celular. Yamauchi, Hara e Sonoda (1986) citaram que este nutriente atua na biossíntese da parede celular, auxiliando na deposição de cálcio e formação de pectatos. De acordo com Loomis e Durst (1992), até 90% do B absorvido pelas plantas se encontra localizado na parede celular.

Dell e Malajczuk (1994) verificaram que sob deficiência de B, árvores apresentavam pouca lignificação, o que faz com que o ramo não suporte o peso das folhas. Plantas submetidas às condições de baixa disponibilidade de B tem como consequência menor alongamento de raízes, tornando-as grossas e curtas, além da redução de produção de novas raízes. Sendo assim, a restrição desse elemento causa menor crescimento do sistema radicular, resultando em menor aquisição de água nos períodos secos e, possivelmente, reduzindo a produtividade agrícola (MARSCHNER, 1986; YIN; PANG; CHEN, 2009).

Hodecker et al. (2014) constataram que o eucalipto, submetido à aplicação de B, proporcionou maior absorção de água, tendo em vista o aumento do sistema radicular e, melhor eficiência de utilização da água, reduzindo a desidratação no período sob estresse hídrico. Hodecker (2015) ressaltou que a maior eficiência de utilização de água se deve ao incremento da taxa fotossintética e concentração de  $K^+$ , o que promove o fechamento estomático; logo, menor perda de água e maior translocação de açúcares para o crescimento radicular. Nunes (2010) relatou que alterações metabólicas provocadas pela limitação de B na planta podem conduzir à menor tolerância ao estresse hídrico.

Os sintomas de deficiência de B estão relacionados com a sua mobilidade dentro da planta. Nas espécies em que o B é relativamente imóvel, o sintoma inicial de deficiência é o desenvolvimento anormal dos pontos de crescimento e, com o decorrer do tempo tem-se a

morte das gemas apicais e quebra da dominância apical (MENGEL; KIRKBY, 2001). Há evidências em que a deficiência deste nutriente tem efeito marcante na produtividade das culturas, mesmo quando os sintomas não estão visíveis (PERICA et al., 2001; ASAD; BLAMEY; EDWARDS, 2003).

Sintomas de deficiência de B em florestas de eucalipto se apresentam inicialmente com o enrugamento e descoloração das folhas novas, os brotos tornam-se quebradiços e morrem. As folhas maduras, da parte superior da copa, ficam descoloridas e desprendem-se dos ramos. A progressão dos sintomas resulta com escurecimento e necrose dos ramos e folhas da parte superior da copa. No estágio mais avançado do quadro sintomatológico, ocorre a morte de ponteiro (também conhecida como “seca do ponteiro”) e de ramos com o superbrotamento das gemas laterais ao longo do caule, devido à morte da gema apical e a perda de dominância, resultando, assim, na bifurcação do tronco (SILVEIRA et al., 2002).

A seca do ponteiro é comumente relatada em plantas de seis a dezoito meses de idade, durante os meses mais secos do ano em várias regiões do Brasil, sendo muito frequente em plantações de eucalipto em solos de Cerrado, comprometendo o desenvolvimento da árvore e sua produtividade (FERREIRA, 1989; CHAVES et al., 2004; MATTIELLO et al., 2009). Segundo Althoff et al. (1991), a intensidade dos sintomas varia com a intensidade e duração do período seco, espécie e fase de crescimento da cultura. Há trabalhos na literatura que ressaltam a importância do B, na cultura do eucalipto, em garantir maior tolerância ao déficit hídrico, tendo em vista o aumento do sistema radicular e a melhor eficiência de utilização da água, reduzindo a desidratação no período sob estresse hídrico (NUNES, 2010; HODECKER, 2015).

Silveira, Moreira e Higashi (2004) relataram que a frequência com que ocorre a deficiência desse nutriente em plantações de eucalipto é maior do que a maioria dos demais nutrientes, exceto para o K e o P. Sgarbi et al. (1999) constataram em clone de *E. grandis* x *E. urophylla* redução de 35% na incidência de seca do ponteiro em solos arenosos e de 45% em solos argilosos com aplicação de 2,2 kg ha<sup>-1</sup> de B na região de Três Marias-MG, local caracterizado com longos períodos de déficit hídrico durante o ano.

Mattiello et al. (2009) conduziram experimento em casa de vegetação e constataram que a deficiência de B causou redução de 21,0 % na produção de matéria seca da parte aérea em mudas de eucalipto. Ramos et al. (2009) também verificaram resultados semelhantes em casa de vegetação, num Latossolo Vermelho com baixo teor de B no solo. Esses autores notaram que a aplicação de B incrementou a produção de matéria seca em *E. citriodora*.

Contudo, doses acima de  $2,25 \text{ mg dm}^{-3}$  promoveram redução desta produção, indicando a possível toxidez do elemento.

Além de prejudicar a qualidade da madeira, Silveira et al. (1997), estudando o efeito das deficiências nutricionais sobre a capacidade de rebrota do híbrido *E. urograndis*, verificaram que a deficiência de B impedia a regeneração das cepas.

A deficiência de B ou a dificuldade do contato íon-raiz principalmente em épocas secas tem como consequência a morte das gemas apicais, superbrotação e internódios extremamente curtos. Sendo assim, é comum na eucaliptocultura, nos meses com baixa disponibilidade hídrica, a aplicação foliar preventiva de B principalmente nos primeiros dois anos de idade (MORAES; MORAES; MOREIRA, 2002; SILVEIRA et al., 2004).

Há evidências de que o grau de exigência e sensibilidade à deficiência de B está conjugado ao teor de pectina da parede celular. Assim, espécies com parede celular rica em pectina, como as dicotiledôneas, apresentam maior requerimento de B quando comparadas com gramíneas que possuem parede celular com menor teor de pectina (HU et al., 1996).

De acordo com Dell et al. (2001), a faixa considerada adequada de B na folha de eucalipto se situa entre  $17$  e  $29 \text{ mg kg}^{-1}$ . Silveira (1999) propõe para *E. saligna*, concentrações entre  $27$  e  $50 \text{ mg kg}^{-1}$  de B, obtendo a máxima produtividade na concentração de  $43 \text{ mg kg}^{-1}$  de B. Além de prejudicar o desenvolvimento da cultura, a deficiência de B pode facilitar a entrada de agentes patogênicos. Silveira (1996) verificou que a deficiência deste elemento aumentou a severidade de infecção do fungo *Botryosphaeria ribis*. A possível explicação, de acordo com Mullick (1997), seria que a deficiência de B limita a atividade do felogênio, dificultando a formação da periderme de cicatrização e a menor lignificação.

## 2.5 Recomendações para as fontes de boro

A escolha da fonte de B a ser aplicada depende de alguns fatores, dentre os quais, tipo de solo, cultura e disponibilidade hídrica. Os adubos boratados, em sua grande maioria, apresentam alta solubilidade, o que favorece a sua mobilidade no solo e, possivelmente, a lixiviação do elemento, principalmente em solos arenosos. Diante disso, tem-se optado pela utilização de fontes menos solúveis, tendo em vista menores perdas do elemento (MORTVEDT, 1994).

De acordo com Hortenstine, Ashley e Wear (1958) citados por Bologna (2003), a utilização de fontes de alta solubilidade apresentam algumas desvantagens, pela alta disponibilidade inicial e, dependendo da dose, pode resultar em sintomas de toxidez; maiores

perdas pelo processo de lixiviação e desuniformidade na disponibilidade do elemento durante o crescimento da cultura.

Silveira e Couto (1997) preconizaram a não utilização de fontes solúveis no plantio florestal, em virtude da possível perda por lixiviação de B e, ou, maior parcelamento das doses quando se faz uso de fontes mais solúveis. Silveira et al. (2001) verificaram que fontes menos solúveis proporcionam maior eficiência, visto que liberação do elemento para a planta ocorre mais gradativamente. Aqueles autores citaram ainda que, em virtude da mobilidade do B no solo, sua maior eficiência ocorre quando aplicado em cobertura, principalmente no período de 60 a 180 dias após o plantio do eucalipto.

Os fertilizantes boratados podem ser aplicados em faixa contínua, se mecanizado, ou em semicírculo (30-60 cm do colo da muda), quando realizada manualmente. Caso exista a necessidade de aplicação de B em sítios após o fechamento da copa, esta aplicação é realizada em área total, tendo em vista o maior volume de solo explorado pelas raízes. Contudo, sítios de menor crescimento, sem fechamento da copa, os fertilizantes devem ser aplicados em faixa contínua entre as linhas (SILVEIRA; COUTO, 1997).

Em regiões com regime hídrico regular é sugerida duas aplicações de B em cobertura, aos 2 e 9 meses após o plantio. Solos arenosos com períodos de déficit hídrico, o parcelamento da adubação boratada ocorre, principalmente, no final do período chuvoso, reduzindo perdas do elemento por lixiviação e proporcionando suprimento contínuo de B no estágio de maior ocorrência de seca de ponteiro, que é nos primeiros dois anos de idade da cultura (SILVEIRA et al., 2001).

Abreu et al. (2004), estudando a movimentação do B em solo arenoso, verificaram que os tratamentos com ulexita apresentaram teores de B significativamente menores que os tratamentos com ácido bórico (alta solubilidade) para o mesmo período de incubação. Segundo os autores, tal fato está associado à liberação mais lenta da fonte menos solúvel. Constataram também que as perdas por lixiviação do B proveniente do ácido bórico foram mais rápidas que as do B advindo da ulexita

Silveira et al. (2002) preconizaram o uso de fontes de baixa solubilidade para essências florestais, como os boratos de cálcio, ulexita e colemanita, os quais apresentam liberação mais gradual, reduzindo o risco de toxicidade. Outra vertente, de acordo com Gonçalves e Valeri (2001), seria a mistura de fontes de B com diferentes solubilidades, garantindo, assim, disponibilidade do elemento a médio e longo prazos. A proporção seria 30 % da dose total, utilizando fontes de alta solubilidade e 70% da dose com fontes de solubilização mais lenta.

Celestrino (2014), estudando fontes e modos de aplicação de B, verificou aos 21 meses após o plantio, que a aplicação de  $1 \text{ kg ha}^{-1}$  de B promoveu incremento em altura de plantas, independente da fonte utilizada. Notou-se que o fertilizante borogran proporcionou maior teor de B no solo aos 24 meses após o plantio, na camada de 20 a 40 cm, o que pode ser benéfico para a cultura ao longo do tempo. Bologna (2003) relatou que fontes de menor solubilidade ou solos com altos teores de silte e argila garantem maior efeito residual do nutriente.

Com relação à dose adequada de B, este é um dos aspectos mais relevantes a serem considerados em programas de adubações, em razão da estreita faixa entre o nível adequado e o fitotóxico (FERREIRA, 1992; FAQUIN, 2005). Gonçalves et al. (1997) recomendaram aplicação de  $1 \text{ kg ha}^{-1}$  de B em solos com baixos teores de B ( $B < 0,21 \text{ mg dm}^{-3}$ ) para o eucalipto.

Segundo Silveira e Couto (1997), as doses normalmente aplicadas na área florestal situam-se entre  $0,5$  a  $1,5 \text{ kg ha}^{-1}$  de B, onde, de um modo mais generalista, se recomenda  $1 \text{ kg ha}^{-1}$  de B. Os mesmos autores relataram que há poucos trabalhos realizados no âmbito de determinar a dose de B adequada, com as seguintes variáveis: tipo de solo, teor de M.O., precipitação e material genético.

Silveira e Higashi (2002) elaboraram recomendação de B em eucalipto, com base no teor deste nutriente no solo. Em solos com teor baixo de B ( $< 0,21 \text{ mg dm}^{-3}$ ), segundo esses autores, há a necessidade de aplicação de  $3 \text{ kg ha}^{-1}$  de B, sendo dividida em três aplicações, onde a primeira cobertura seria realizada dos 60 a 90 dias ( $0,5 \text{ kg ha}^{-1}$  de B); a segunda cobertura, aos 6-9 meses após o plantio, utilizando  $1,0 \text{ kg ha}^{-1}$  de B, e por fim, a terceira cobertura, aos 12-24 meses após o plantio, utilizando  $1,5 \text{ kg ha}^{-1}$  de B.

Estudando doses, fontes e formas de aplicação de B na cultura do eucalipto, Paula (2009) verificou que houve interação entre doses de B x clones x níveis de adubação (potencial e reduzida) sobre a intensidade dos sintomas de seca do ponteiro e volume de madeira. A mesma autora também constatou interação positiva entre doses de B x clones, nas mensurações de altura de árvores e diâmetro à altura do peito (DAP).

Bouchardet (2002) constatou que existe diferença entre clones quanto à resposta a aplicação de B. Celestrino (2014) relatou que seria interessante realizar estudos de calibração de B, sendo específico para o material genético utilizado e condições edafoclimáticas locais. De acordo com Silva (2011), a recomendação de adubação para o eucalipto precisa ser reavaliada, pois, a inserção de materiais genéticos mais produtivos, com destaque para os

clones, possivelmente os tornam mais exigentes que os utilizados para gerar a recomendação atual.

Em relação às fontes de B, Moreira, Moraes e Castro (2006) verificaram que a adubação boratada, utilizando fertilizantes de média solubilidade foi mais eficiente do que fontes mais solúveis para a obtenção de aumento no DAP em seringueira, sendo esse fato, possivelmente decorrente da disponibilização mais lenta do elemento durante o desenvolvimento da cultura.

Há trabalhos na literatura que não verificaram respostas nas mensurações do DAP no eucalipto, em função das fontes de B. Paula (2009) não constatou diferença entre o ácido bórico e ulexita, assim como Celestrino (2014) entre ácido bórico e borogran. Todavia, Paula (2009) relatou que o ácido bórico foi mais eficiente na prevenção do aparecimento dos sintomas de seca do ponteiro, devido sua maior solubilidade. Sendo assim, com a utilização de fontes mais solúvel, as exigências de B são prontamente atendidas no período chuvoso e de intenso crescimento vegetativo.

Hunter, Will e Skinner (1990) verificaram em povoamento de pinus, durante quatro anos consecutivos, os efeitos de fontes de B (borato de sódio, colemanita pó e granulada e ulexita pó e granulada) na dose de  $6 \text{ kg ha}^{-1}$  de B. Os autores notaram que fontes de menor solubilidade (colemanita e ulexita) proporcionaram maior efeito residual ao longo dos anos e, assim, garantiu concentração adequada para a cultura. Ao contrário, a fonte de alta solubilidade (borato de sódio) proporcionou, logo no primeiro ano, sintomas de excesso do elemento, visto também a elevada concentração foliar deste ( $80 \text{ mg kg}^{-1}$  de B).

De acordo com Paula (2009), a combinação de aplicação de B via solo e foliar foi a única capaz de prevenir o secamento do ponteiro, que é o sintoma característico de deficiência de B, principalmente durante o período de déficit hídrico. Para aplicações foliares, a fonte de B mais recomendada é o ácido bórico, que, devido à reação ácida, é compatível com a maioria dos defensivos agrícolas (QUAGGIO; PIZA JUNIOR, 2001).

Celestrino (2014), estudando fontes de B (ácido bórico e borogran) aplicadas no sulco de plantio, associado ou não à aplicação de B via foliar, verificou interação aos 21 meses após o plantio. Segundo o autor, com a omissão de B no plantio, porém, com duas aplicações foliares (0,5% de ácido bórico em calda de  $250 \text{ L ha}^{-1}$ , cada) aos quatro e dez meses após o plantio, houve incremento em altura de árvores quando comparado aos tratamentos que não receberam essas aplicações foliares.

## 2.6 Ciclagem de nutrientes

De acordo com Gonçalves et al. (2000), os estágios nutricionais das árvores podem ser divididos em antes e depois do fechamento da copa. Antes do fechamento, durante a fase de adaptação da cultura, as taxas de acúmulo de nutrientes são pequenas, em virtude da alocação destes para a síntese de raízes. Após esta adaptação, tem-se o intenso crescimento e acúmulo de nutrientes com maior demanda destes pela cultura e maior dependência da fertilidade do solo, propiciando assim, maior potencial de resposta à fertilização. Após esse período, a ciclagem de nutrientes, caracterizada pela deposição de folhas, galhos e demais estruturas da planta que caem sobre o solo e compõem a serapilheira, assume papel importante no fornecimento de nutrientes para as plantas por meio de sua decomposição (ciclo biogeoquímico).

O ciclo de nutrientes em ecossistemas florestais, de acordo com Pritchett (1987), pode ser classificado em duas formas: externo e interno. Ciclo externo, comumente chamado de geoquímico, caracteriza-se pelas trocas de elementos entre o ecossistema e seus componentes externos, proporcionando balanço de entradas e saídas de nutrientes no sítio florestal. Enquanto que o ciclo interno, também chamado de biológico, considera somente a ciclagem interna dos elementos nos ecossistemas florestais. Este é subdividido em: a - ciclo bioquímico, referente à translocação de elementos dentro da árvore. Este ciclo é mais importante para elementos móveis na planta, como: N, P, K, e Mg, sendo menos importante para os elementos que apresentam baixa mobilidade (Ca e B); b – ciclo biogeoquímico, envolvendo a ciclagem dos elementos entre o solo e a biomassa florestal.

Assim, a ciclagem de nutrientes em essências florestais, via deposição de serapilheira, é importante para a contínua circulação dos elementos no ecossistema, tendo em vista a transferência dos nutrientes presentes na biomassa arbórea para o compartimento da manta florestal (SILVA, 2011; SCHUMACHER; VIERA, 2015). Contudo, características fisiológicas de cada espécie, bem como a capacidade de absorção, acúmulo, precipitação, temperatura, concentração de nutrientes, luminosidade, tipos de solo, entre outras, são condições que influenciam o fluxo interno ou externo dos elementos no sítio florestal (FIGUEIREDO FILHO et al., 2003; CORRÊA, 2005).

Há também variação dentro da planta, onde cada compartimento arbóreo proporciona concentrações específicas de nutrientes (VIERA et al., 2010). Tal composição, afeta o processo de decomposição do material senescente oriundo das plantas, interferindo, assim, na sua disponibilização (SCHUMACHER; VIERA, 2015). De acordo com Caldeira et al. (1999),



na fase inicial, o folheto, composto por folhas decíduas, corresponde em 60 a 80% do total da serapilheira acumulado. Vale ressaltar que aplicações de fertilizantes, mineral ou orgânico, podem influenciar as concentrações dos elementos nos compartimentos das árvores, e, conseqüentemente, interferir na ciclagem dos nutrientes (GUEDES, 2005).

Segundo Viera (2012), o B é o segundo elemento com maior coeficiente de devolução, ficando atrás somente do K. Tal coeficiente é definido como o processo de fragmentação da serapilheira e sua liberação no solo (SINGH; DUTTA; AGRAWAL, 2004). Deste modo, sendo o B um elemento imóvel no floema (FAQUIN, 2005), acumulando-se em folhas velhas, é de suma importância a ciclagem biogeoquímica do elemento, proporcionando o seu retorno ao solo e o reaproveitamento pela cultura. Neste contexto, Zaia e Gama-Rodrigues (2004) relatam que, quanto maior a ciclagem dos nutrientes, maior será disponibilidade do elemento no solo. Viera (2012) preconiza a não remoção dos resíduos florestais durante a colheita, pois, estes contribuem com a sustentabilidade ambiental, além da possível redução de fertilizantes utilizados para reposição nutricional do sítio florestal. Outro importante benefício, segundo Chaer e Tótola (2007), é a redução de plantas daninhas na área florestal, caso exista homogeneidade na distribuição da serapilheira.

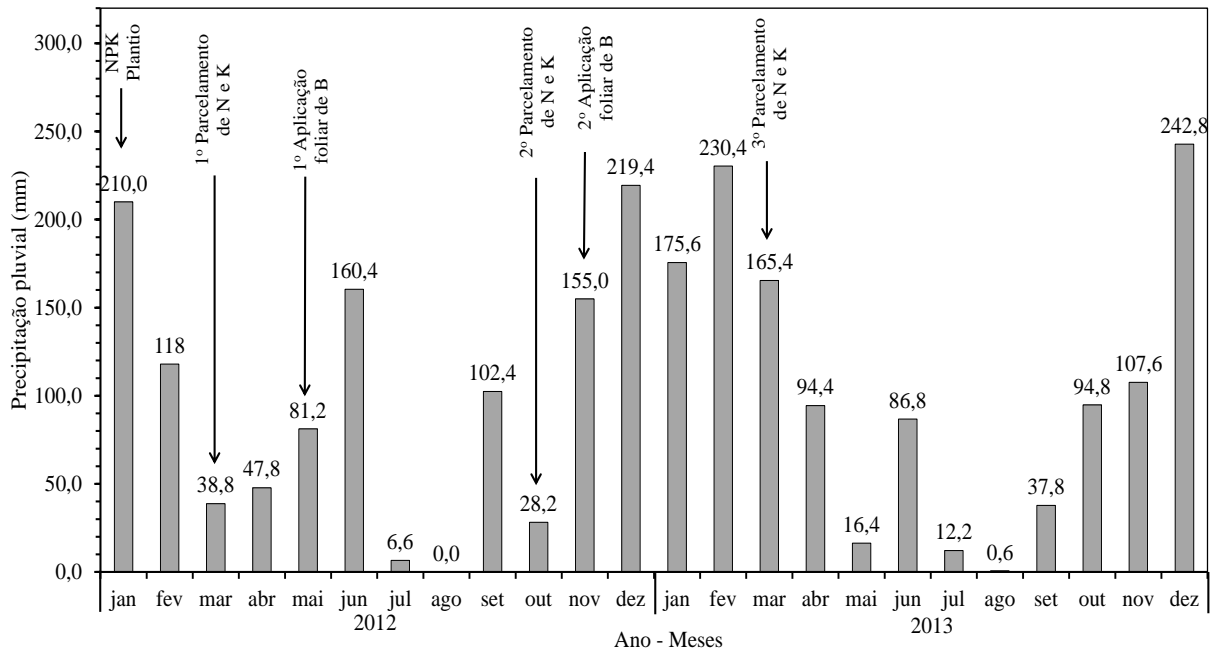
Neste contexto, Barros, Neves e Novais (2005) relataram que espécies de rápido crescimento, como o eucalipto, exigem requerimentos nutricionais provenientes do solo e, ou, fertilizantes até a idade de três anos. Após este período, há redução de respostas à aplicação de fertilizantes, haja vista a ciclagem bioquímica (retranslocação interna de nutrientes) e biogeoquímica atender as necessidades das árvores até a idade de corte.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Descrições da área experimental

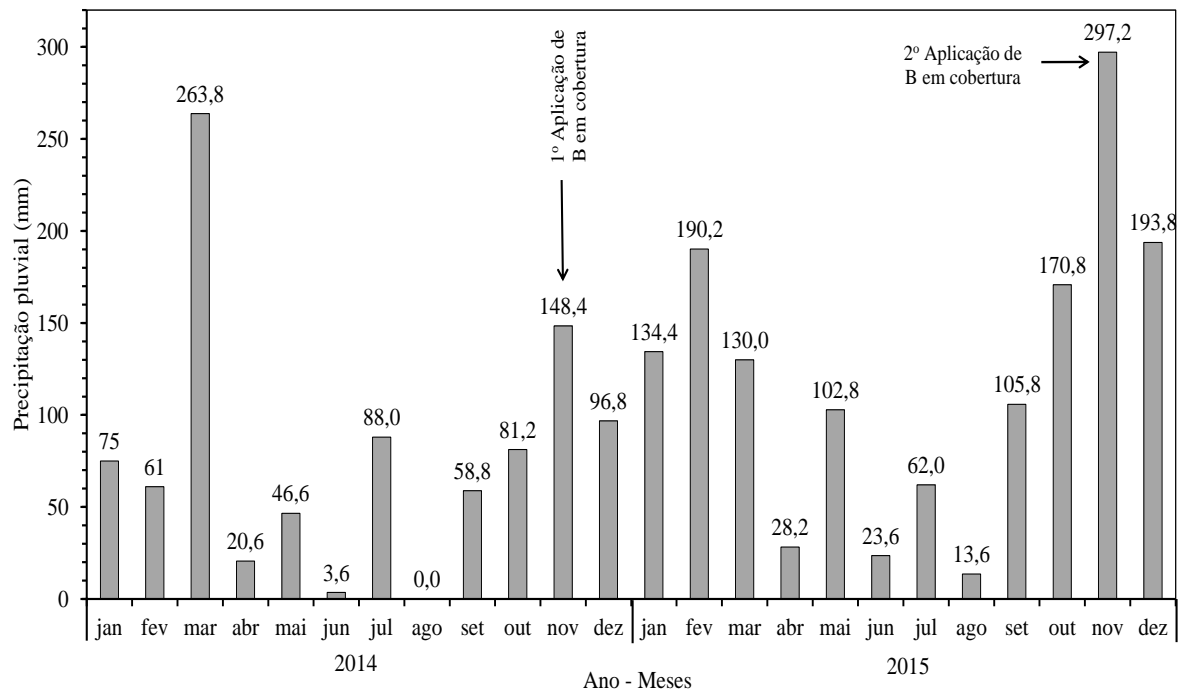
O experimento foi implantado em janeiro de 2012, na fazenda Renascença situada no município de Três Lagoas - MS, com latitude 20° 34' S e longitude 51° 50' O, e altitude de aproximadamente 305 m. A classificação climática da região de acordo com Köppen é Aw, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. A precipitação pluvial (mm) que compreende o período de condução do experimento consta na Figura 1 A, Figura 1 B e Figura 1 C.

**Figura 1 A.** Precipitação pluvial mensal (mm) registrada na Estação Meteorológica Automática de Três Lagoas – MS, durante a condução do experimento, 2012/2013.



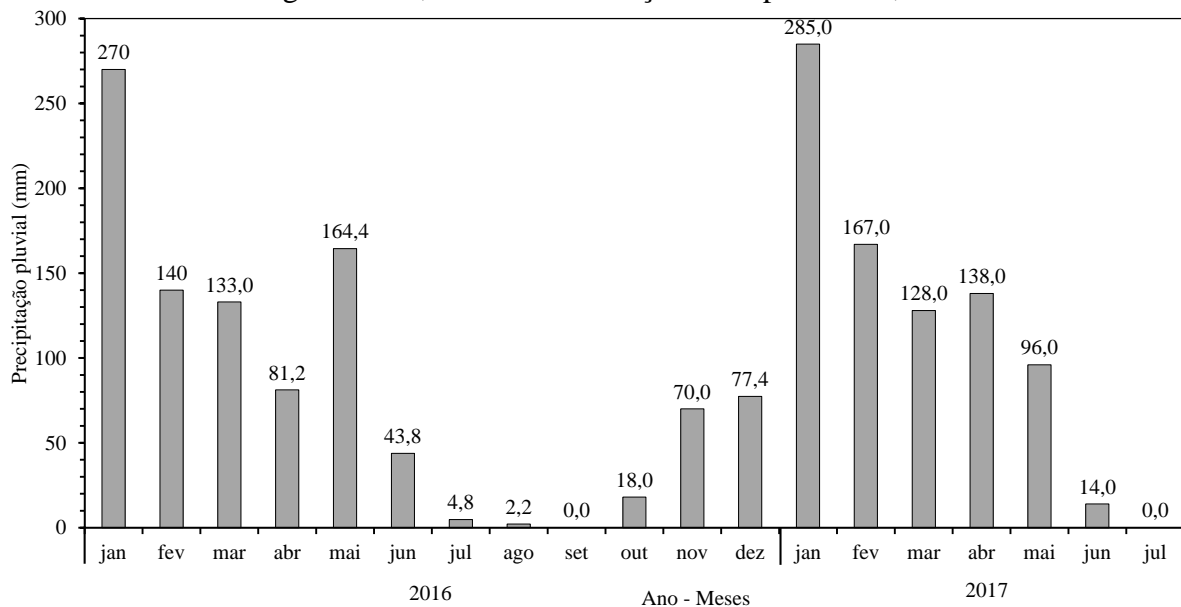
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

**Figura 1 B.** Precipitação pluvial mensal (mm) registrada na Estação Meteorológica Automática de Três Lagoas – MS, durante a condução do experimento, 2014/2015.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

**Figura 1 C.** Precipitação pluvial mensal (mm) registrada na Estação Meteorológica Automática de Três Lagoas – MS, durante a condução do experimento, 2016/2017.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

O solo é classificado como Neossolo Quartzarênico Órtico, segundo o sistema brasileiro de classificação de solos (SANTOS et al., 2013), apresentando valores de granulometria de 85, 17 e 898 g kg<sup>-1</sup> de argila, silte e areia, respectivamente, na camada de 0,00 a 0,20 m (Tabela 1).

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

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

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Os atributos químicos do solo foram determinados antes da instalação do experimento (Setembro/2011), segundo metodologia proposta por Raij et al. (2001), sendo as amostragens realizadas nas camadas de 0,00 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m. O solo em estudo, típico do bioma Cerrado, apresentou baixos teores de nutrientes e M.O. De acordo com Raij et al. (1997), verificou-se que antes da instalação do experimento este solo apresentava teor médio de B (Tabela 2).

**Tabela 2.** Atributos químicos do solo inicial da área experimental. Três Lagoas/MS, 2011.

Cam. (cm)	P <sub>resina</sub>	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB
	mg dm <sup>-3</sup>	g dm <sup>-3</sup>	CaCl <sub>2</sub>			mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			
0-020	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
Cam. (cm)	CTC	V	m	S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	B	Cu	Zn	Mn	Fe
	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	%				mg dm <sup>-3</sup>			
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

Nota: O método de extração usado para os micronutrientes catiônicos foi o DTPA, para o boro foi a água quente

Fonte: elaborada pelo autor.

## 2.2 Atividades silviculturais

No mês de setembro de 2011, com base na análise química de solo e no histórico da área, pastagem degradada cultivada com *Urochloa brizantha* (Syn. *Brachiaria*) há 20 anos com alta infestação de plantas daninhas, houve a necessidade de aplicação de calcário dolomítico na dose de 1500 kg ha<sup>-1</sup> com PRNT 80% e gesso na dose de 500 kg ha<sup>-1</sup>, ambos aplicados a lança sobre a superfície do solo.

Em setembro de 2011 também foi realizado o combate inicial de formigas, utilizando isca formicida granulada (1,5 g ha<sup>-1</sup> do ingrediente ativo (i.a) sulfluramida). No mês de dezembro de 2011 efetuou-se a derrubada e retirada de árvores nativas, roçada mecânica total,

abertura de estradas, construção de cercas e combate de formigas no pré-plantio (0,9 g ha<sup>-1</sup> do i.a. sulfluramida), se estendendo até o mês de janeiro de 2012 (0,6 g ha<sup>-1</sup> do i.a. sulfluramida).

No mês de janeiro de 2012, aplicaram-se 4 L ha<sup>-1</sup> de herbicida dessecante (2880 g ha<sup>-1</sup> do i.a. glyphosate) com a finalidade de erradicar as plantas daninhas. Foi realizado o preparo do solo, que consistiu na subsolagem na linha de plantio, com utilização do subsolador até a profundidade média de 0,45 m.

O plantio foi realizado no dia 28 de janeiro de 2012, sendo utilizadas mudas do clone I144 (híbrido espontâneo de *Eucalyptus urophylla*), seguido de fornecimento de água para melhor pegamento das mudas. Duas semanas após o plantio foi realizada a aplicação de 150 g ha<sup>-1</sup> de um herbicida pré-emergente (112,5 g ha<sup>-1</sup> do i.a. isoxaflutole) para controle das plantas daninhas.

A adubação de plantio foi realizada em janeiro de 2012, manualmente em filete contínuo, no sulco de plantio com NPK, pelo uso de 150 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 10-27-10 associada a 30 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> proveniente do superfosfato triplo (45% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), seguindo os critérios utilizados pela empresa Cargill/SA para plantios comerciais. Foram realizadas, no plantio, as adubações de Cu e Zn na dose de 1 kg ha<sup>-1</sup>, utilizando os fertilizantes sulfato de cobre e sulfato de zinco (20% Zn), respectivamente. As adubações de cobertura, nitrogenada e potássica, foram realizadas aos 2, 9 e 14 meses após o plantio, de forma manual, no tipo semicírculo. Em cada adubação nitrogenada de cobertura foi utilizado o nitrato de amônio (32% de N) na dose de 40 kg ha<sup>-1</sup> de N e, na potássica, foi utilizado o cloreto de potássio (60% K<sub>2</sub>O) na dose de 50 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Sendo assim, ao longo dos 14 meses após o plantio, houve o fornecimento de 135 kg ha<sup>-1</sup> de N, 70 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 165 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.

Para a manutenção do experimento no ano de 2012 foram realizadas outras atividades: a) controle químico das plantas daninhas na entre linha: março e novembro foram aplicados 2880 g ha<sup>-1</sup> do i.a. do glyphosate; b) controle químico das plantas daninhas na linha: maio de 2012, com aplicação de herbicida pré-emergente, sendo utilizado 112,5 g ha<sup>-1</sup> do i.a. isoxaflutole; c) controle de manutenção das formigas cortadeiras: junho e setembro, com aplicação de isca formicida granulada (0,3 e 1,5 g ha<sup>-1</sup> do i.a. de sulfluramida, respectivamente).

Para a manutenção do experimento no ano de 2013 foram realizados: a) controle químico das plantas daninhas na entrelinha: janeiro e novembro com aplicação de 2880 g ha<sup>-1</sup> do i.a. do glyphosate; c) controle das formigas cortadeiras: maio e julho, com aplicação de isca formicida granulada (0,3 e 1,5 g ha<sup>-1</sup> do i.a. da sulfluramida, respectivamente); d) roçada manual em novembro de 2013.

As atividades de manutenção dos anos 2014, 2015, 2016 e 2017 foram: a) controle das formigas cortadeiras: maio e julho, com aplicação de isca formicida granulada (0,3 e 1,5 g ha<sup>-1</sup> do i.a. da sulfluramida, respectivamente).

### 3.3 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com doze tratamentos e cinco repetições, dispostos em esquema fatorial de 3 x 2 com parcelas subdividas (2). Cada subparcela foi composta por 24 plantas, distribuídas em três linhas de oito plantas cada, no espaçamento de 3,0 x 2,5 m. Para a área útil das subparcelas consideraram-se 18 árvores, excluindo uma árvore de cada extremidade das linhas.

Os tratamentos dispostos em esquema fatorial já implantado, com as duas fontes de B fornecidas no sulco de plantio e a aplicação ou não de B via foliar, foram subdivididos com a reaplicação ou não deste nutriente em cobertura, tornando-se esquema fatorial com parcelas subdividas de 3 x 2 x 2. Portanto, o fatorial 3 se refere à aplicação no sulco de plantio, sendo: 0 kg ha<sup>-1</sup> de B; 1 kg ha<sup>-1</sup> de B utilizando o fertilizante borogran (baixa solubilidade, 10% B) e 1 kg ha<sup>-1</sup> de B utilizando o fertilizante ácido bórico (alta solubilidade, 17% B), ambos aplicado manualmente em filete contínuo no sulco de plantio. A dose de 1 kg ha<sup>-1</sup> de B no sulco de plantio está de acordo com as recomendações elaboradas por Gonçalves, Raij e Gonçalves (1997).

O fatorial 2 se refere à aplicação ou não de B via foliar. Foram realizadas duas aplicações foliares de B, aos quatro e dez meses após o plantio. Em cada aplicação utilizou-se ácido bórico (0,5%) no volume de 250 L ha<sup>-1</sup> de calda, sendo, portanto, fornecido via foliar 0,425 kg ha<sup>-1</sup> de B. Essas aplicações foram realizadas no período da manhã, com auxílio de uma bomba costal com capacidade de 20 litros, utilizando bico tipo leque e pressão de trabalho de 6 kgf cm<sup>-2</sup>.

As parcelas subdividas em 2 se referem às que receberam ou não as reaplicações de B em cobertura, aos 34 e 46 meses após o plantio, manualmente, na projeção da copa. Para cada aplicação de B foi utilizado o fertilizante ácido bórico na dose de 1 kg ha<sup>-1</sup> de B. Os tratamentos estão explicitados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Tratamentos no esquema fatorial 3 x 2 em parcelas subdivididas (2), Três Lagoas/MS.

Tratamentos	Modo de aplicação			kg ha <sup>-1</sup> de B total
	Solo	Foliar	Reaplicação	
<b>T1</b>	-	-		0,0
<b>T2</b>	Borogran	-		1,0
<b>T3</b>	Ácido Bórico	-		1,0
<b>T4</b>	Borogran	Ácido Bórico		1,425
<b>T5</b>	Ácido Bórico	Ácido Bórico		1,425
<b>T6</b>	-	Ácido Bórico		0,425
<b>T7</b>	-	-	Ácido Bórico	2,0
<b>T8</b>	Borogran	-	Ácido Bórico	3,0
<b>T9</b>	Ácido Bórico	-	Ácido Bórico	3,0
<b>T10</b>	Borogran	Ácido Bórico	Ácido Bórico	3,425
<b>T11</b>	Ácido Bórico	Ácido Bórico	Ácido Bórico	3,425
<b>T12</b>	-	Ácido Bórico	Ácido Bórico	2,425

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

### 3.4 Teores de nutrientes no solo

Aos 36, 48 e 60 meses após o plantio do eucalipto foram realizadas as coletas de solo da área experimental com o auxílio de trado tipo caneca, sendo coletadas amostras de solo na linha e entrelinha de plantio (aproximadamente 50 cm da planta).

Em cada subparcela coletaram-se cinco amostras de solo nas linhas e entrelinhas de plantio, nas camadas de 0,00 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m. Posteriormente, as amostras foram encaminhadas à estufa e, após a secagem, no Laboratório de Fertilidade do Solo UNESP/ Ilha Solteira, foram peneiradas em malha de 2 mm para a determinação da análise química de macro e micronutrientes, de acordo com a metodologia descrita por Raij et al. (2001).

### 3.5 Concentrações dos nutrientes nas folhas

Aos 30, 36, 42 e 66 meses após o plantio foram coletadas folhas maduras provenientes de ramos situados no terço superior das copas, dirigidas aos quatro pontos cardeais, preconizando o antepenúltimo lançamento de folha dos galhos (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Foram amostradas dez árvores por subparcela, contudo, aos 66 meses após o plantio, consideraram-se apenas as árvores abatidas, nas quais coletaram-se folhas do terço inferior e superior para a comparação da concentração foliar de B.

Posteriormente, as folhas foram secas em estufa de ventilação forçada (65° C) por 72 horas e moídas em moinho do tipo Wiley. Assim, foram encaminhadas ao Laboratório de

Nutrição de Plantas da UNESP/ Ilha Solteira para análise química foliar. Foram realizadas digestões (sulfúrica para N; nitroperclórica para P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn; e incineração para B), sendo determinadas as concentrações foliares de macro e micronutrientes, conforme descrito por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

### 3.6 Boro acumulado na biomassa

Foi determinado o acúmulo de B na biomassa após a derrubada de quatro árvores por subparcela (Figura 2A) aos 66 meses após o plantio. De acordo com a metodologia descrita por Silva (2011), selecionou-se uma árvore representativa da classe superior, duas da classe intermediária e uma da classe inferior. Em seguida, foi realizada a desfolha das mesmas (Figura 2B) e os compartimentos (folhas, galhos e troncos) foram fracionados e pesados em campo (Figura 2C) com o auxílio de uma balança digital com capacidade máxima de 150 kg.

**Figura 2.** Derrubada das árvores aos 66 meses após o plantio (A). Desfolha das árvores abatidas (B). Pesagem das toras no campo (C). Três Lagoas/MS, 2017.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Foram coletadas frações de cada compartimento e encaminhadas ao Laboratório de Nutrição de Plantas da UNESP/Ilha Solteira para determinação da umidade e, posteriormente, a determinação da biomassa seca. As amostras foram secas em estufas de ventilação forçada (65°C), pesadas e moídas em moinho do tipo Wiley. Os discos selecionados foram processados, com o auxílio de motosserra e, em seguida, moídos em moinho tipo Wiley. A análise química para determinação da concentração de B na biomassa foi realizada segundo a metodologia descrita por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Cabe destacar que, para a determinação de B no tronco, utilizaram-se os teores médios de B obtidos nos discos de madeira coletados na base, DAP, 50% da altura total e na altura comercial (3 cm de diâmetro).



### 3.7 Eficiência no uso de boro

Aos 66 meses após o plantio foi determinada a eficiência de uso de B, segundo o método de Barros et al. (1986). Assim, calculou-se a Eficiência de Uso do B (EU) como sendo a relação entre a Biomassa Seca do Tronco (BST) e a mineralomassa acumulada no Tronco (NAT), conforme a equação (1).

$$EU = BST / NAT \quad (1)$$

### 3.8 Concentração de boro no folheto

Para a determinação da concentração de B no folheto foram instalados, aos 30 meses após o plantio do eucalipto, coletores de nylon (tipo sombrite) fixados em quatro árvores, suspensos a aproximadamente 1,30 m acima do solo, conforme a Figura 3. Foram realizadas três repetições com três coletores em cada subparcela, totalizando, assim, 108 coletores.

**Figura 3.** Coletores de nylon fixados em quatro árvores. Três Lagoas/MS, 2017.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

As coletas dos folhedos foram realizadas aos 30, 33, 36, 39, 42, 45, 48, 51, 54, 57, 60, 63 e 66 meses após o plantio. As amostras foram pesadas e secadas em estufa à 65°C, e, após a secagem, novamente eram pesadas e encaminhadas ao Laboratório de Nutrição de Plantas da UNESP/Ilha Solteira para a análise química do nutriente, segundo a metodologia de

Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Sendo assim, verificou-se a transferência de B presente no folheto para o solo, utilizando a seguinte equação (2):

$$TB = BF \times [B]_{\text{folheto}} \quad (2)$$

Onde: TB: Transferência de B das árvores para o solo; BF: Biomassa do folheto depositado;  $[B]_{\text{folheto}}$ : concentração foliar de B no folheto ( $\text{mg kg}^{-1}$  de B).

### 3.9 Avaliações dendrométricas do eucalipto

Foram realizadas as medições de altura de árvores aos 36, 42, 48, 54, 60 e 66 meses após o plantio, sendo mensuradas todas as árvores da área útil das subparcelas. Para esta determinação utilizou-se o aparelho Forestor Vertex, composto por um hipsômetro e um emissor (transponder) (CAMPOS; LEITE, 2002). Assim como a altura de árvores, nos mesmos períodos também foram avaliados o diâmetro a altura do peito (DAP) em todas as árvores das subparcelas, utilizando-se fita métrica para a medição da circunferência a 1,30 m de altura da árvore, a partir da base do tronco. Para a determinação do DAP empregou-se a seguinte equação (3):

$$DAP = C / \pi \quad (3)$$

onde: DAP = Diâmetro a altura do peito (cm); C= circunferência a 1,30 m de altura (cm).

A partir dos dados obtidos nas mensurações de altura de árvores e DAP, foi realizada a estimativa do volume de madeira com casca, utilizando as seguintes equações (4) e (5):

$$V_{tc} = \sum V_i / A_i * 10000 \quad (4)$$

$$V_i = \frac{\pi * (DAP_i)^2 * ff * H_i}{4} \quad (5)$$

em que:  $V_i$  = volume de madeira com casca da árvore;  $A_i$  = área útil das subparcelas ( $135 \text{ m}^2$ );  $V_{tc}$  = volume total com casca ( $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ );  $DAP_i$  = diâmetro à altura do peito de cada árvore (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 árvore (m).

### 3.10 Porcentagem de árvores bifurcadas

Diante do número de árvores com sintomas característicos de deficiência de B (perda de dominância apical) no segundo ano após o plantio (Figura 4), foi determinada, aos 30, 36 e 42 meses após o plantio, a porcentagem de árvores bifurcadas de todas as árvores na área útil das subparcelas.

**Figura 4.** Clone I144 aos 24 meses de idade sem aplicação de B via solo e foliar. Três Lagoas/MS, 2014.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

### 3.11 Densidade básica da madeira

Aos 66 meses após o plantio, após o abate das árvores, foi determinada a densidade básica da madeira (DBM) utilizando o método da balança hidrostática (FOELKEL; BRASIL; BARRICHELO, 1971). Foram derrubadas quatro árvores por subparcela, onde se coletaram discos do fuste (base e altura comercial) em sacos de papelão, para serem encaminhados à UNESP/Ilha Solteira. Os discos foram saturados com água, sendo, portanto, imersos em tanque de PVC preenchido com água, conforme a Figura 5.

**Figura 5.** Tanque de PVC preenchido com água para a saturação dos discos. Ilha Solteira/SP, 2017.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Após a saturação dos discos, esses foram encaminhados ao Laboratório de Genética de Populações e Silvicultura UNESP/Ilha Solteira para a determinação da massa úmida ( $P_u$ ) (Figura 6A) e massa imersa ( $P_i$ ) (Figura 6B), utilizando uma balança hidrostática.

**Figura 6.** Balança hidrostática utilizada para quantificar a massa úmida ( $P_u$ ) (A) e massa imersa ( $P_i$ )(B). Ilha Solteira/SP, 2017.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Posteriormente, os discos foram encaminhados à estufa a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  para sua secagem, e, quando estes atingiram a massa constante, realizou-se a determinação da massa seca ( $P_s$ ). Assim, a DBM foi calculada de acordo com a equação (6):

$$\text{DBM} = P_s / (P_u - P_i) \quad (6)$$

onde: DBM: densidade básica da madeira ( $\text{g cm}^{-3}$ ); Ps: massa da madeira (g) a 0% de umidade; Pu: massa de madeira (g) úmida (saturada) e Pi: massa da madeira (g) imersa.

### **3.12 Análises dos dados**

Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade utilizando-se o programa SISVAR (FERREIRA, 2011), com intuito de verificar o efeito residual das fontes de B no sulco de plantio, a aplicação ou não do nutriente via foliar, assim como as reaplicações de B em cobertura.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Fertilidade do solo

#### 4.1.1 Teores de macronutrientes na linha de plantio

Os teores de macronutrientes no solo aos 36 e 60 meses após o plantio, na linha de plantio, em camadas de 0,00 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m estão presentes na Tabela 4 e 5, cujos efeitos residuais das fontes de B no sulco de plantio, bem como as aplicações foliares de B e as reaplicações do nutriente em cobertura, não influenciaram os teores de macronutrientes no solo. No mesmo cultivo, Celestrino (2014) também não verificou diferenças nos teores de macronutrientes no solo aos 24 meses após o plantio, em função dos tratamentos com B. Os tratamentos do presente estudo receberam as mesmas quantidades de macronutrientes, à exceção do enxofre (S), sendo este constituinte do fertilizante borogran (10% S-SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>).

De acordo com os limites de interpretação dos teores de nutrientes propostos por Raij et al. (1997), verificou-se, de modo geral, que os teores de P, na linha de plantio, foram considerados altos (9-16 mg dm<sup>-3</sup> de P, para espécies florestais). Assim, a aplicação de 70,5 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, durante a implantação da cultura, foi suficiente para proporcionar teores adequados de P no solo. Aos 24 meses após o plantio, no mesmo cultivo, Celestrino (2014) relatou que os teores de P eram considerados muito altos, segundo limites de interpretação de Raij et al. (1997). Deste modo, é possível que, com o avanço da idade da cultura, as raízes absorvam este nutriente, tendo em vista o seu menor teor no solo ao longo do tempo. De acordo com Gonçalves e Mello (2000), as raízes finas, definidas como raízes de absorção, estão presentes, principalmente, nos primeiros 30 cm de profundidade.

Em Neossolo Quartzarênico com teor de P muito baixo para essências florestais, Gazola (2014) constatou, aos 24 meses após o plantio, que a dose de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> suficiente para atingir teor muito alto de P (> 16 mg dm<sup>-3</sup>) situou-se entre 83 e 95 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, e, para teor alto de P (9-16 mg dm<sup>-3</sup>), entre 31 e 39 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Os teores de K no solo, na linha de plantio, foram considerados muito baixos para a cultura do eucalipto (< 0,7 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de K), segundo limites de interpretação de Raij et al. (1997). Esses teores de K foram semelhantes ao encontrado na análise química inicial do solo, contudo, cabe destacar que, na linha de plantio, foram aplicados somente 15 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O provenientes da aplicação de 150 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 10-27-10.

**Tabela 4** - Teores de macronutrientes no solo na linha de plantio do eucalipto, nas profundidades de 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m após 36 meses do plantio, em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2015.

Tratamentos	0,0-0,20 m				
	P	S-SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	K	Ca	Mg
	mg dm <sup>-3</sup>		mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		
<b>Plantio</b>					
Testemunha	9,67 a	3,17 a	0,22 a	1,75 a	1,25 a
Acido Bórico	11,08 a	2,50 a	0,18 a	1,75 a	1,25 a
Borogran	8,75 a	2,75 a	0,22 a	1,83 a	1,25 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	5,28	0,67	0,07	0,70	0,47
<b>Foliar</b>					
Sem	10,06 a	2,78 a	0,21 a	1,61 a	1,39 a
Com	9,61 a	2,83 a	0,20 a	1,94 a	1,11 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	3,56	0,45	0,04	0,47	0,32
<b>Reaplicação</b>					
Sem	10,11 a	2,89 a	0,21 a	1,94 a	1,28 a
Com	9,56 a	2,72 a	0,19 a	1,61 a	1,22 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	3,56	0,45	0,07	0,47	0,32
<b>C.V. (%)</b>	26,63	23,15	31,44	13,70	12,49
0,20-0,40 m					
<b>Plantio</b>					
Testemunha	17,58 a	2,67 a	0,13 a	1,08 a	1,00 a
Acido Bórico	15,75 a	2,67 a	0,12 a	1,00 a	1,00 a
Borogran	18,08 a	2,58 a	0,18 a	1,00 a	1,08 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	2,60	0,81	0,08	0,17	0,17
<b>Foliar</b>					
Sem	16,78 a	2,56 a	0,17 a	1,00 a	1,06 a
Com	17,50 a	2,72 a	0,12 a	1,06 a	1,00 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	1,75	0,55	0,06	0,12	0,12
<b>Reaplicação</b>					
Sem	17,11 a	2,56 a	0,14 a	1,00 a	1,00 a
Com	17,17 a	2,72 a	0,15 a	1,06 a	1,06 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	1,75	0,55	0,06	0,11	0,11
<b>C.V. (%)</b>	14,79	12,48	6,05	16,22	16,22

Nota: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Os teores de Ca e Mg no solo, na linha de plantio, foram considerados baixos (< 3 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Ca e < 4 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Mg), segundo os limites de interpretação de Raij et al. (1997), mesmo com a aplicação à lanço, em área total, de 1500 kg ha<sup>-1</sup> de calcário com PRNT de 80%. De acordo com Novais, Barros e Neves (1986), o nível crítico de Ca e Mg no solo, na manutenção do eucalipto, com incremento média anual de 30 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, é de 6 e 1,3 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Ca e Mg, respectivamente. Portanto, no presente trabalho, os teores de Ca e Mg estão aquém do nível crítico preconizado pelos autores. É possível que a



lixiviação de bases contribuiu para os baixos teores verificados, pois, tratando-se de um solo com baixa CTC e textura arenosa, tais perdas são mais significativas quando comparado ao solo de textura argilosa.

Antes da implantação do experimento, segundo critérios da empresa Cargill/SA, houve a necessidade de aplicação à lanço, em área total, de 500 kg ha<sup>-1</sup> de gesso, contudo, segundo os limites de interpretação de Raij et al. (1997), os teores de S, na linha de plantio, foram tidos como baixos (< 4 mg dm<sup>-3</sup> de S) para essências florestais.

**Tabela 5** - Teores de macronutrientes no solo na linha de plantio do eucalipto, nas profundidades de 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m, após 60 meses do plantio, em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2017.

Tratamentos	0,0-0,20 m				
	P	S-SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	K	Ca	Mg
	mg dm <sup>-3</sup>		mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		
<b>Plantio</b>					
Testemunha	8,25 a	2,33 a	0,23 a	1,83 a	1,25 a
Acido Bórico	10,25 a	2,08 a	0,23 a	2,08 a	1,42 a
Borogran	7,75 a	2,25 a	0,26 a	2,25 a	1,50 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	4,76	0,30	0,08	0,69	0,46
<b>Foliar</b>					
Sem	9,61 a	2,28 a	0,24 a	2,06 a	1,33 a
Com	7,89 a	2,17 a	0,23 a	2,06 a	1,44 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	3,21	0,20	0,06	0,46	0,31
<b>Reaplicação</b>					
Sem	8,89 a	2,19 a	0,24 a	2,08 a	1,41 a
Com	8,61 a	2,06 a	0,27 a	2,03 a	1,17 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	3,21	0,20	0,06	0,46	0,31
<b>C.V. (%)</b>	25,37	13,38	33,33	13,66	11,75
<b>0,20-0,40 m</b>					
<b>Plantio</b>					
Testemunha	15,83 a	2,17 a	0,17 a	1,33 a	1,01 a
Acido Bórico	13,33 a	2,08 a	0,17 a	1,50 a	1,00 a
Borogran	13,58 a	2,41 a	0,16 a	1,25 a	1,01 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	3,71	0,39	0,11	0,49	0,02
<b>Foliar</b>					
Sem	13,56 a	2,22 a	0,19 a	1,50 a	1,01 a
Com	14,94 a	2,22 a	0,15 a	1,22 a	1,01 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	2,50	0,26	0,08	0,33	0,01
<b>Reaplicação</b>					
Sem	14,00 a	2,37 a	0,14 a	1,22 a	1,01 a
Com	14,50 a	2,13 a	0,20 a	1,50 a	1,01 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	2,50	0,26	0,08	0,33	0,01
<b>C.V. (%)</b>	25,35	16,92	7,89	12,21	2,23

Nota: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Fonte: Elaboração do próprio autor.



#### 4.1.2 Teores de macronutrientes na entrelinha de plantio

O residual das fontes de B, bem como as aplicações foliares e reaplicações do nutriente em cobertura, não influenciaram, de modo geral, os teores de macronutrientes do solo, nas camadas de 0,0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m (Tabela 6 e 7). Contudo, aos 60 meses após o plantio, em camadas superficiais, constatou-se que as reaplicações de B em cobertura influenciaram positivamente os teores de Ca, Mg e S, sendo, portanto, efeito indireto da maior produção de serapilheira, proporcionando o retorno dos nutrientes ao solo pela ciclagem biogeoquímica. Silva (2011), estudando o parcelamento da fertilização e doses de N, P e K em plantações de *E. grandis* até os 24 meses de idade, constatou que as adubações, independente das doses e parcelamentos, proporcionaram maior deposição de folheto, e conseqüentemente o maior retorno dos nutrientes ao solo, à exceção do P, quando comparado ao tratamento testemunha. Segundo o autor, a aplicação de fertilizantes pode reduzir o tempo de permanência das folhas fixadas aos galhos, pois, tal prática antecipa a competição por luz e água no solo, tendo em vista o rápido crescimento das plantas.

Estudando a ciclagem e balanço de nutrientes no sistema solo-planta em eucalipto, Gatto et al. (2014) constataram que o Ca é o nutriente com maior quantidade na serapilheira, contribuindo com  $71,82 \text{ kg ha}^{-1}$  de Ca. Assim, práticas de manejo que mantenham resíduos florestais após a colheita, como cascas, galhos e folhas, são essenciais sob o ponto de vista econômico e nutricional (VIERA et al., 2013b). No presente trabalho, considerando o efeito benéfico das reaplicações de B nos teores de Ca, Mg e S no solo, houve incremento médio de  $44 \text{ kg ha}^{-1}$  de Ca,  $12 \text{ kg ha}^{-1}$  de Mg e  $0,78 \text{ kg ha}^{-1}$  de S, quando comparado a não reaplicação do nutriente em cobertura.

De acordo com os limites de interpretação dos teores dos nutrientes no solo proposto por Raij et al. (1997), os teores de P na entrelinha são considerados baixos para essências florestais ( $3\text{-}5 \text{ mg dm}^{-3}$  de P). Isso é explicado pela baixa mobilidade do nutriente no solo e o local de sua aplicação, sendo esta realizada no sulco de plantio.

Assim como na linha de plantio, os teores de Ca e Mg, na entrelinha, foram considerados baixos para essências florestais ( $< 3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de Ca e  $< 4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de Mg), mesmo com aplicação de calcário à lanço, em área total, na dose de  $1500 \text{ kg ha}^{-1}$  de calcário com PRNT 80%. Tendo em vista a textura do solo, associado à baixa CTC, é possível que houve lixiviação de bases, como Ca e Mg, demonstrado pelos baixos teores desses nutrientes na análise química do solo até a camada de 0,40 m. Outra possível explicação é a extração pela cultura, ao longo do ciclo vegetativo, principalmente do Ca acumulado na parte

aérea. De acordo com Andrade et al. (2006) e Faria et al. (2008), tem-se a seguinte ordem de acúmulo de nutrientes no tronco e parte aérea: N > Ca > K > Mg > P.

**Tabela 6** - Teores de macronutrientes no solo nas entrelinhas de plantio do eucalipto, nas profundidades de 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m após 36 meses do plantio, em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2015.

Tratamentos	0,0-0,20 0m				
	P	S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K	Ca	Mg
	mg dm <sup>-3</sup>		mmolc dm <sup>-3</sup>		
<b>Plantio</b>					
Testemunha	2,75 a	2,92 a	0,25 a	1,50 a	1,33 a
Acido Bórico	2,75 a	2,58 a	0,18 a	1,17 a	1,08 a
Borogran	3,67 a	2,83 a	0,19 a	1,58 a	1,25 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	1,55	0,64	0,07	0,51	0,43
<b>Foliar</b>					
Sem	3,33 a	2,83 a	0,22 a	1,33 a	1,17 a
Com	2,78 a	2,72 a	0,19 a	1,50 a	1,28 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	1,05	0,43	0,05	0,35	0,29
<b>Reaplicação</b>					
Sem	3,17 a	2,67 a	0,22 a	1,55 a	1,28 a
Com	2,40 a	2,89 a	0,19 a	1,28 a	1,27 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	1,05	0,43	0,05	0,35	0,29
<b>C.V. (%)</b>	20,46	22,52	4,63	12,20	11,03
<b>0,20-0,40 m</b>					
<b>Plantio</b>					
Testemunha	1,67 a	4,75 a	0,23 a	1,08 a	1,00 a
Acido Bórico	1,58 a	3,58 a	0,20 a	1,08 a	1,01 a
Borogran	1,92 a	4,58 a	0,28 a	1,08 a	1,00 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,60	1,50	0,16	0,27	0,02
<b>Foliar</b>					
Sem	1,89 a	4,28 a	0,29 a	1,06 a	1,00 a
Com	1,56 a	4,33 a	0,18 a	1,11 a	1,01 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,41	1,01	0,11	0,18	0,02
<b>Reaplicação</b>					
Sem	1,83 a	4,00 a	0,21 a	1,17 a	1,01 a
Com	1,61 a	4,61 a	0,26 a	1,00 a	1,00 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,41	1,01	0,11	0,18	0,02
<b>C.V. (%)</b>	13,16	15,08	10,00	7,42	5,43

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Verificou-se que os teores de S, na forma de sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), se sobressaíram em camadas mais profundas (0,20 a 0,40 m), proporcionando teores tidos como médio, de acordo com Rajj et al. (1997). O ânion SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> não fica retido no solo, sendo, portanto, facilmente lixiviado em solos arenosos (RAIJ, 2011).

**Tabela 7** - Teores de macronutrientes no solo nas entrelinhas de plantio do eucalipto, nas profundidades de 0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m, após 60 meses do plantio, em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2017.

Tratamentos	0,0-0,20 m				
	P	S-SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	K	Ca	Mg
	mg dm <sup>-3</sup>			mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	
<b>Plantio</b>					
Testemunha	1,92 a	3,08 a	0,20 a	1,75 a	1,17 a
Acido Bórico	2,00 a	3,00 a	0,19 a	2,08 a	1,33 a
Borogran	1,92 a	3,17 a	0,20 a	2,00 a	1,42 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,35	0,47	0,07	0,50	0,46
<b>Foliar</b>					
Sem	2,00 a	3,00 a	0,22 a	2,05 a	1,28 a
Com	1,89 a	3,17 a	0,17 a	1,83 a	1,33 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,24	0,32	0,05	0,34	0,31
<b>Reaplicação</b>					
Sem	1,94 a	2,89 b	0,19 a	1,39 b	1,06 b
Com	1,94 a	3,28 a	0,20 a	2,50 a	1,56 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,24	0,32	0,05	0,34	0,31
<b>C.V. (%)</b>	17,72	14,94	36,04	25,19	34,43
<b>0,20-0,40 m</b>					
<b>Plantio</b>					
Testemunha	1,17 a	4,08 a	0,14 a	1,37 a	1,00 a
Acido Bórico	1,25 a	3,83 a	0,12 a	1,58 a	1,01 a
Borogran	1,42 a	3,83 a	0,19 a	1,79 a	1,02 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,38	1,14	0,08	0,55	0,04
<b>Foliar</b>					
Sem	1,40 a	3,78 a	0,15 a	1,67 a	1,00 a
Com	1,11 a	4,05 a	0,15 a	1,50 a	1,02 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,30	0,77	0,05	0,37	0,03
<b>Reaplicação</b>					
Sem	1,33 a	3,56 a	0,14 a	1,11 b	1,00 a
Com	1,22 a	4,28 a	0,15 a	2,05 a	1,02 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,30	0,77	0,05	0,37	0,03
<b>C.V. (%)</b>	28,63	28,37	48,20	33,89	3,76

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Mesmo com a adubação potássica parcelada em três aplicações, na dose de 50 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, cada, na projeção da copa, os teores de K na entrelinha de plantio são considerados muito baixos (< 0,7 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de K), semelhantes aos teores de K verificado na análise inicial do solo. Isso demonstra a alta extração do elemento pela cultura ao longo dos 3 anos de cultivo, embora, no mesmo cultivo, Celestrino (2014) já mencionava o baixo teor de K no solo aos 24 meses após o plantio.

Estudando doses de K em Neossolo Quartzarênico com teor muito baixo de K, Gazola (2014) verificou que os teores de K no solo para obtenção de máxima produção

relativa foram de 1,27 e 1,12  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ , nas profundidades de 0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m, respectivamente. No presente estudo, o teor médio de K foi de 0,22  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ , sendo aquém dos valores que o autor supracitado verificou para a máxima produção relativa. Novais, Barros e Neves (1986) constataram que o nível crítico de K no solo para o incremento médio anual de  $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  é de 1,5  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$  de K.

#### **4.1.3 Teores de micronutrientes na linha de plantio**

O efeito residual das fontes de B aplicadas no sulco de plantio, bem como as aplicações de B via foliar, e as reaplicações de B em cobertura, não influenciaram os teores de micronutrientes no solo, na linha de plantio, à exceção do teor de B (Tabela 8, 9 e 10). Verificou-se aos 36 meses após o plantio que os maiores teores de B no solo, considerando a camada de 0,0 a 0,20 m, são provenientes do fertilizante borogran, quando este comparado à testemunha. Porém, em camadas subsuperficiais (0,20 a 0,40 m), notou-se que aquele fertilizante (borogran) proporcionou maior efeito residual de B no solo quando comparado à fonte solúvel (ácido bórico) e testemunha. Nesse sentido, tendo em vista a precipitação pluvial no verão (Figura 1 B), é possível que a aplicação de ácido bórico tenha favorecido a lixiviação de B, sendo esta mais intensa em solos de textura arenosa. Abreu et al. (2004) também verificaram que as perdas por lixiviação de B proveniente do ácido bórico foram mais rápidas quando comparada à fonte menos solúvel.

Segundo Silveira et al. (2002), a capacidade de retenção do B é menor em solos arenosos, sendo preconizado o maior parcelamento das doses quando se faz uso de fontes mais solúveis em água. Outra opção, segundo os autores, é a utilização de fontes menos solúveis em água, cuja liberação gradual do nutriente ao solo reduz as perdas pelo processo de lixiviação.

No mesmo cultivo, aos 24 meses após o plantio, Celestrino (2014) também constatou maior efeito residual de B no solo proveniente do fertilizante borogran, quando comparado ao ácido bórico. Contudo, em Latossolo Vermelho, Bologna (2003) estudou fontes de B e verificaram que tais não influenciaram os teores de B no solo. De acordo com autor, é possível que o tempo entre aplicação dos tratamentos e a coleta de solo não foi suficiente para verificar diferença entre fontes de B com diferente solubilidade.

**Tabela 8** - Teores de micronutrientes no solo na linha de plantio do eucalipto, nas profundidades de 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m após 36 meses do plantio, em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2015.

Tratamentos	0,0-0,20 m				
	B	Cu	Zn	Mn	Fe
mg dm <sup>-3</sup>					
<b>Plantio</b>					
Testemunha	0,18 b	1,73 a	2,22 a	2,51 a	40,83 a
Acido Bórico	0,21 ab	2,96 a	1,88 a	2,53 a	40,00 a
Borogran	0,27 a	1,57 a	2,57 a	2,73 a	38,17 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,06	2,03	1,53	0,79	13,55
<b>Foliar</b>					
Sem	0,22 a	1,78 a	2,03 a	2,59 a	37,83 a
Com	0,22 a	2,39 a	2,41 a	2,59 a	41,50 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,04	1,68	1,03	0,53	9,13
<b>Reaplicação</b>					
Sem	0,22 a	1,26 a	2,03 a	2,48 a	38,39 a
Com	0,23 a	2,91 a	2,41 a	2,71 a	40,94 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,04	1,68	1,03	0,53	9,13
<b>C.V. (%)</b>	26,54	34,87	27,73	29,63	33,29
0,20-0,40 m					
<b>Plantio</b>					
Testemunha	0,22 b	0,55 a	0,78 a	1,58 a	25,58 a
Acido Bórico	0,23 b	0,71 a	0,58 a	1,58 a	23,50 a
Borogran	0,36 a	0,61 a	0,83 a	1,83 a	25,75 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,10	0,23	0,55	0,42	8,29
<b>Foliar</b>					
Sem	0,25 a	0,59 a	0,66 a	1,67 a	22,67 a
Com	0,30 a	0,66 a	0,81 a	1,64 a	27,22 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,07	0,15	0,37	0,28	5,59
<b>Reaplicação</b>					
Sem	0,30 a	0,59 a	0,65 a	1,57 a	25,67 a
Com	0,24 a	0,66 a	0,81 a	1,75 a	24,22 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,07	0,15	0,37	0,28	5,59
<b>C.V. (%)</b>	36,08	35,60	20,97	24,48	32,40

Nota: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.  
Fonte: Elaboração do próprio autor.

De acordo com os limites de interpretação dos teores de nutrientes proposto por Raij et al. (1997), a aplicação de 1 kg ha<sup>-1</sup> de B no sulco de plantio, independente da fonte de B, resultaram em teores de B tidos como médios (0,21 - 0,6 mg dm<sup>-3</sup> de B) para a cultura. Os teores de B no solo nos tratamentos submetidos à omissão de B no plantio são considerados baixos (< 0,21 mg dm<sup>-3</sup> de B), embora, possivelmente, o ciclo biogeoquímico neste período também contribuiu para o fornecimento de B à planta.

Os teores de Cu e Zn no solo, de acordo com Raij et al. (1997), são considerados altos para a cultura. Sendo assim, a aplicação de 1 kg ha<sup>-1</sup> de Cu e Zn no sulco de plantio

proporcionaram teores no solo que atenderam a necessidade da cultura ao longo do tempo. Os teores de Fe também foram considerados altos ( $>12 \text{ mg dm}^{-3}$  de Fe), enquanto que os teores de Mn foram médios ( $1,3 - 5,0 \text{ mg dm}^{-3}$  de Mn).

O efeito residual das fontes de B aplicadas no plantio influenciaram os teores de B no solo aos 48 meses após o plantio. Considerando a camada de 0,0 a 0,20 m na linha de plantio, o fertilizante borogran proporcionou maior efeito residual de B no solo quando comparado ao ácido bórico e testemunha. Assim, mesmo com este efeito benéfico no solo, garantindo a maior permanência de B, as fontes de B comportaram-se de modo semelhante quanto às concentrações foliares do nutriente, considerando o mesmo período, assim como na estimativa de produtividade de madeira. Portanto, com a possível movimentação em profundidade do B proveniente da fonte solúvel, as raízes ainda os conseguem absorver, mesmo em camadas mais profundas.

**Tabela 9** - Teores de boro no solo na linha de plantio do eucalipto, nas profundidades de 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m, após 48 meses do plantio, em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2016.

Tratamentos	Teor de B ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	
	Linha	
	0,0-0,20 m	0,20-0,40 m
<b>Plantio</b>		
Testemunha	0,18 b	0,19 a
Acido Bórico	0,19 b	0,27 a
Borogran	0,23 a	0,25 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,04	0,09
<b>Foliar</b>		
Sem	0,21 a	0,24 a
Com	0,19 a	0,23 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,03	0,06
<b>Repliação</b>		
Sem	0,19 a	0,25 a
Com	0,21 a	0,23 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,03	0,06
<b>C.V. (%)</b>	19,53	5,71

Nota: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.  
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Contrastando com os teores de B no solo aos 36 meses após o plantio, em subsuperfície (0,20 – 0,40 m), notou-se aos 48 meses após o plantio que as fontes de B proporcionaram teores de B no solo semelhantes. É possível que a precipitação pluvial no verão (Figura 1 C), tenha favorecido também a lixiviação do B advindo do borogran, tendo em vista a redução do teor de B no solo no intervalo de 36 a 48 meses após o plantio. Outra

possível explicação seria a maior absorção de B pelas raízes, com a maior disponibilidade de B no solo proveniente do borogran. Entretanto, no mesmo cultivo, considerando a camada subsuperficial, aos 24 meses após o plantio, Celestrino (2014) constatou maior efeito residual de B no solo oriundo do borogran, logo, concluiu-se que a fonte mais solúvel proporcionou maior disponibilidade inicial do nutriente para as plantas.

De acordo com o limite de interpretação dos teores de B no solo proposto por Raij et al. (1997) e considerando a camada superficial, verificou-se que a omissão de B no plantio, assim como a aplicação de ácido bórico, resultaram em teores tidos como baixos para a cultura. Em contrapartida, somente o fertilizante borogran proporcionou teores tidos como médios para a cultura ( $0,21 - 0,6 \text{ mg dm}^{-3}$  de B) nas duas camadas. Sendo assim, é possível que o ácido bórico, apresentando alta solubilidade em água e presente na forma molecular e não iônica, tenha lixiviado, e, por conseguinte, não diferiu dos teores de B no solo dos tratamentos submetidos à omissão de B no plantio. Outra possível explicação seria a maior disponibilidade inicial de B no solo, advindo do fertilizante ácido bórico, favorecendo a sua absorção pela árvore.

Verificou-se aos 60 meses após o plantio que o residual da aplicação de fontes de B, assim como as aplicações de B via foliar, não influenciaram os teores de micronutrientes no solo, à exceção do B, na camada de 0,20 a 0,40 m. Notou-se nesta camada o maior residual de B no solo, em virtude da aplicação de borogran, quando comparado ao ácido bórico e testemunha. Assim, a maior disponibilidade inicial de B e, ou, lixiviação do nutriente, faz com que o teor de B no solo proveniente do ácido bórico, ao longo dos 60 meses após o plantio, seja semelhante aos teores de B no solo com a não aplicação do nutriente no plantio. No mesmo cultivo, Celestrino (2014) constatou, aos 24 meses após o plantio, o maior efeito residual do fertilizante menos solúvel em água. Contudo, embora exista essa diferença entre as fontes de B aplicadas no plantio, as variáveis dendrométricas não foram influenciadas pelas fontes de B na dose de  $1 \text{ kg ha}^{-1}$  de B.

De acordo com os limites de interpretação dos teores dos nutrientes proposto por Raij et al. (1997), os teores de B estavam baixos ( $< 0,21 \text{ mg dm}^{-3}$  de B), sugerindo a necessidade de complementação deste nutriente, mesmo com a contribuição do ciclo biogeoquímico após o fechamento da copa. Bouchardet (2002) relatou que a dose de  $1 \text{ kg ha}^{-1}$  de B, a mesma utilizada no sulco de plantio do presente trabalho, é suficiente para atender as exigências de determinado clone de eucalipto até os 24 meses de idade. Nesse sentido, os menores teores de B constatados no solo aos 60 meses após o plantio, quando comparados aos

teores de B antes da instalação do experimento, sugere, possivelmente, o consumo do nutriente oriundo do fertilizante, bem como do B presente inicialmente no solo.

**Tabela 10** - Teores de micronutrientes no solo na linha de plantio do eucalipto, nas profundidades de 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m após 60 meses do plantio, em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2017.

Tratamentos	0,0-0,20 m				
	B	Cu	Zn	Mn	Fe
	mg dm <sup>-3</sup>				
<b>Plantio</b>					
Testemunha	0,10 a	2,62 a	1,82 a	2,11 a	23,58 a
Acido Bórico	0,11 a	4,14 a	2,80 a	1,91 a	23,92 a
Borogran	0,11 a	2,44 a	2,37 a	2,53 a	21,50 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,02	2,52	1,68	0,70	6,58
<b>Foliar</b>					
Sem	0,11 a	2,56 a	2,16 a	2,28 a	22,50 a
Com	0,11 a	3,58 a	2,50 a	2,08 a	23,50 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,01	1,70	1,13	0,47	4,43
<b>Reaplicação</b>					
Sem	0,11 a	3,01 a	2,80 a	2,20 a	22,22 a
Com	0,11 a	3,13 a	1,87 a	2,17 a	23,78 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,01	1,70	1,13	0,47	4,43
<b>C.V. (%)</b>	15,46	34,66	28,50	31,37	27,89
	<b>0,20-0,40 m</b>				
<b>Plantio</b>					
Testemunha	0,10 b	0,47 a	1,28 a	0,84 a	11,50 a
Acido Bórico	0,12 b	0,62 a	1,37 a	0,84 a	11,58 a
Borogran	0,17 a	0,57 a	1,33 a	0,89 a	12,17 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,04	0,26	0,73	0,31	3,18
<b>Foliar</b>					
Sem	0,12 a	0,56 a	1,39 a	0,90 a	11,94 a
Com	0,12 a	0,54 a	1,26 a	0,82 a	11,55 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,03	0,17	0,49	0,21	2,14
<b>Reaplicação</b>					
Sem	0,14 a	0,52 a	1,13 a	0,89 a	11,72 a
Com	0,12 a	0,58 a	1,52 a	0,83 a	11,78 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,03	0,17	0,49	0,21	2,14
<b>C.V. (%)</b>	30,39	45,05	19,38	35,17	26,35

Nota: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade  
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Estudando doses de B em *E. benthamii*, num Cambissolo Húmico, Dias (2016) constatou ajuste a equação linear crescente para o teor de B no solo até a dose de 2,75 g planta<sup>-1</sup> de B, proporcionando incremento de 0,6 mg dm<sup>-3</sup> de B no solo. Considerando a população de árvores do presente estudo (1333 plantas ha<sup>-1</sup>), a dose equivalente ao trabalho de Dias (2016) seria de 3,66 kg ha<sup>-1</sup> de B, ficando esta ligeiramente próxima à dose



(3 kg ha<sup>-1</sup> de B) elaborada por Silveira e Higashi (2002) para solos com teores menores que 0,25 mg dm<sup>-3</sup> de B.

Segundo Dias (2016), doses de B em Cambissolos com alto teor de M.O não influenciaram o diâmetro de caule e altura de plantas de *E. benthamii*. Contudo, em solo com baixo teor de M.O (7,4 g dm<sup>-3</sup>), no mesmo cultivo do presente estudo, Celestrino (2014) verificou, aos 24 meses após a aplicação de B no sulco de plantio, correlação positiva entre o teor de B no solo e altura de plantas, sendo esta de  $r = 0,97^{**}$ , na camada de 0,0 a 0,20 m de profundidade e  $r = 0,91^{**}$  na camada de 0,20 a 0,40 m de profundidade.

De acordo com os limites de interpretação dos teores dos nutrientes proposto por Raij et al. (1997), os teores de Cu e Zn na linha são considerados altos ( $> 0,8$  mg dm<sup>-3</sup> de Cu e  $> 1,2$  mg dm<sup>-3</sup> de Zn); médios de Mn (1,3-5,0 mg dm<sup>-3</sup> de Mn) e altos de Fe ( $> 12$  mg dm<sup>-3</sup> de Fe).

#### **4.1.4 Teores de micronutrientes na entrelinha de plantio**

O efeito residual das fontes de B aplicadas no sulco de plantio, bem como as aplicações de B via foliar, não influenciaram os teores de micronutrientes no solo, nas entrelinhas de plantio. Todavia, as reaplicações de B em cobertura proporcionaram maiores teores de B no solo (Tabela 11, 12 e 13). Aos 36 meses após o plantio, com apenas a primeira reaplicação de B em cobertura, houve incremento de 36% (0,30 mg dm<sup>-3</sup> de B) no teor médio de B no solo, na camada de 0,0 a 0,20 m. A não constatação de diferença nos teores de B no solo em camadas mais profundas se deve, possivelmente, ao tempo entre a aplicação de B em cobertura (34 meses após o plantio) e a coleta de solo (36 meses após o plantio). Porém, o acréscimo no teor de B no solo, na camada de 0,0 a 0,20 m, em virtude da reaplicação do nutriente, resultou em efeito benéfico na estimativa de produtividade da madeira. Segundo Marschner (1995), este nutriente atua no crescimento meristemático, bem como na formação da parede celular, especificamente na síntese de pectina, lignina e celulose.

O efeito benéfico pela reaplicação de B, proporcionando incremento no teor do nutriente no solo, é um indicativo que a cultura necessita de doses maiores que 1 kg ha<sup>-1</sup> de B no sulco de plantio, quando esta instalada em solo com baixo teor de M.O. Portanto, é importante que, principalmente no intenso crescimento vegetativo da cultura (primavera/verão), este nutriente não seja limitante, pois dentre suas funções na planta destaca-se o transporte de açúcares, alongamento celular, síntese de ácidos nucléicos, respostas hormonais, integridade e funcionamento de membranas e regulação do ciclo celular

(MARSCHNER, 1995; BROWN et al., 2002; REGUERA et al., 2009). Em Neossolo Quartzarênico, Gazola (2014) constatou que a dose de 2 kg ha<sup>-1</sup> de B proporcionou altos teores de B para o clone I144, aos 24 meses após o plantio, segundo limites de interpretação elaborado por Raij et al. (1997).

**Tabela 11** - Teores de micronutrientes no solo nas entrelinhas de plantio do eucalipto, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm após 36 meses do plantio, em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2015.

Tratamentos	0-20 cm				
	B	Cu	Zn	Mn	Fe
	mg dm <sup>-3</sup>				
<b>Plantio</b>					
Testemunha	0,25 a	0,45 a	0,82 a	3,01 a	48,83 a
Acido Bórico	0,24 a	0,43 a	0,62 a	2,29 a	49,58 a
Borogran	0,28 a	0,43 a	0,73 a	2,97 a	50,83 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,09	0,11	0,43	0,83	12,71
<b>Foliar</b>					
Sem	0,24 a	0,48 a	0,88 a	2,82 a	51,39 a
Com	0,27 a	0,39 a	0,55 a	2,70 a	48,11 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,06	0,09	0,34	0,56	8,56
<b>Reaplicação</b>					
Sem	0,22 b	0,43 a	0,79 a	2,69 a	51,33 a
Com	0,30 a	0,45 a	0,64 a	2,83 a	48,17 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,06	0,09	0,34	0,56	8,56
<b>C.V. (5%)</b>	33,84	17,59	16,49	29,34	24,90
	<b>20-40 cm</b>				
<b>Plantio</b>					
Testemunha	0,20 a	0,44 a	1,76 a	1,52 a	26,50 a
Acido Bórico	0,19 a	0,43 a	1,63 a	1,20 a	24,33 a
Borogran	0,21 a	0,43 a	1,63 a	1,55 a	21,92 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,09	0,10	1,11	0,37	5,48
<b>Foliar</b>					
Sem	0,21 a	0,46 a	2,11 a	1,51 a	24,61 a
Com	0,20 a	0,41 a	1,23 a	1,33 a	23,89 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,06	0,06	0,90	0,22	3,69
<b>Reaplicação</b>					
Sem	0,18 a	0,44 a	1,63 a	1,52 a	23,44 a
Com	0,23 a	0,43 a	1,71 a	1,32 a	25,06 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,06	0,06	0,90	0,22	3,69
<b>C.V. (%)</b>	45,15	14,35	40,06	22,28	22,03

Nota: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

De acordo com os limites de interpretação dos teores dos nutrientes proposto por Raij et al. (1997), os teores de Cu e Zn nas entrelinhas foram classificados como médios

(0,3-0,8 mg dm<sup>-3</sup> de Cu e 0,6-1,2 mg dm<sup>-3</sup> de Zn); médios para Mn (1,3-5,0 mg dm<sup>-3</sup> de Mn) e altos para Fe (>12 mg dm<sup>-3</sup> de Fe).

As reaplicações de B em cobertura, aos 34 e 46 meses após o plantio, influenciaram positivamente os teores de B no solo nas duas camadas das entrelinhas de plantio, aos 48 e 60 meses após o plantio. Contudo, de acordo com os limites de interpretação elaborado por Raij et al. (1997), os teores de B no solo, tanto aos 48 como aos 60 meses após o plantio, ainda situam-se dentro da faixa considerada média para a cultura.

O aumento de B no solo, verificado aos 48 meses após o plantio, aproximadamente três vezes maior quando comparado à ausência das reaplicações, foi suficiente para propiciar incremento de 15,3% na estimativa de volume de madeira com casca. Diante dessa assertiva, é possível que aplicação de 1 kg ha<sup>-1</sup> de B no sulco de plantio, em solo de Cerrado de textura arenosa com teor médio do nutriente, não seja suficiente para que a cultura expresse o seu potencial de produção. Portanto, com a inserção de materiais genéticos mais produtivos e possivelmente mais exigentes, há a necessidade de estudos de calibração de doses de B, que considere as condições edafoclimáticas, bem como o clone em questão. Neste trabalho fica evidente que a aplicação de 1 kg ha<sup>-1</sup> de B no plantio, embora mantenha teores médios de B no solo até os 48 meses após o plantio, na linha de plantio, é uma dose considerada baixa em solos arenosos com baixo teor de M.O.

**Tabela 12** - Teores de boro no solo nas entrelinhas de plantio do eucalipto, nas profundidades de 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m após 48 meses do plantio, em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2016.

Tratamentos	Teor de B (mg dm <sup>-3</sup> )	
	Entrelinha	
	0,0-0,20 m	0,20-0,40 m
<b>Plantio</b>		
Testemunha	0,21 a	0,15 a
Acido Bórico	0,42 a	0,36 a
Borogran	0,40 a	0,40 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,21	0,29
<b>Foliar</b>		
Sem	0,35 a	0,34 a
Com	0,33 a	0,27 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,14	0,20
<b>Reaplicação</b>		
Sem	0,19 b	0,14 b
Com	0,50 a	0,47 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,14	0,20
<b>C.V. (%)</b>	10,70	14,60

Nota: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Considerando os atributos químicos iniciais do solo, segundo a tabela de recomendação elaborada por Silveira e Higashi (2002) para regiões que apresentam disponibilidade hídrica regular, seria necessária a aplicação de  $2 \text{ kg ha}^{-1}$  de B, sendo esta parcelada em três aplicações ( $0,5$ ;  $0,5$  e  $1,0 \text{ kg ha}^{-1}$  de B), se findando a última até os 24 meses após plantio. Neste trabalho, mesmo com reaplicações de B tardias, e conseqüentemente, a menor resposta às aplicações de fertilizantes, em virtude do ciclo biogeoquímico, constatou-se que tais reaplicações de B foram benéficas para a cultura, proporcionando incremento médio de B na camada arável do solo de  $0,62$  e  $0,32 \text{ kg ha}^{-1}$  de B, aos 48 e 60 meses após o plantio, respectivamente, quando comparados à ausência das reaplicações do nutriente.

Em Neossolo Quartzarênico, Gazola (2014), estudando doses de NPK para o clone I144 na região do Cerrado, verificou aos 24 meses após o plantio que, duas aplicações de B em cobertura (nove e quatorze meses após o plantio) proporcionaram teores de B tidos como altos ( $> 0,60 \text{ mg dm}^{-3}$  de B) nas entrelinhas de plantio. No presente estudo, as aplicações de  $1 \text{ kg ha}^{-1}$  cada, aos 34 e 46 meses após o plantio, manteve teores tidos como médio para a cultura. Em casa de vegetação, Mattiello et al. (2009), estudando o transporte de B e sua absorção em mudas de *E. grandis*, num Latossolo Vermelho Amarelo, verificaram que os teores de B no solo para a máxima produção de matéria seca da parte aérea foram  $0,33 \text{ mg dm}^{-3}$  de B ( $-10 \text{ kPa}$ ) e  $0,738 \text{ mg dm}^{-3}$  de B ( $-40 \text{ kPa}$ ). De acordo com Ramos et al. (2009), a umidade do solo influencia o aproveitamento de B pelas plantas. Libardi (2005) comentou que solos arenosos sob condições hídricas limitantes têm a condutividade hidráulica reduzida mais drasticamente quando comparado aos solos argilosos, logo, menor suprimento de B às plantas, tendo em vista que o principal mecanismo de contato íon-raiz é, predominantemente, fluxo de massa (FAQUIN, 2005).

De acordo com os limites de interpretação dos teores dos nutrientes proposto por Raij et al. (1997), os teores de Cu e Zn nas entrelinhas estavam médios ( $0,3$ - $0,8 \text{ mg dm}^{-3}$  de Cu) e baixos ( $< 0,6 \text{ mg dm}^{-3}$  de Zn), respectivamente. Em relação aos teores de Mn, os teores foram médios ( $1,3$ - $5,0 \text{ mg dm}^{-3}$  de Mn) na profundidade de  $0,0$  a  $0,20 \text{ m}$  e, baixos na camada mais profunda ( $< 1,3 \text{ mg dm}^{-3}$  de Mn).

**Tabela 13** - Teores de micronutrientes no solo nas entrelinhas de plantio do eucalipto, nas profundidades de 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m após 60 meses do plantio, em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2017.

Tratamentos	0,0-0,20 m				
	B	Cu	Zn	Mn	Fe
	mg dm <sup>-3</sup>				
<b>Plantio</b>					
Testemunha	0,15 a	0,36 a	0,29 a	2,02 a	28,25 a
Acido Bórico	0,27 a	0,34 a	0,29 a	1,95 a	31,83 a
Borogran	0,21 a	0,35 a	0,21 a	2,17 a	25,83 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,16	0,05	0,08	0,76	7,94
<b>Foliar</b>					
Sem	0,20 a	0,38 a	0,32 a	2,19 a	28,72 a
Com	0,22 a	0,35 a	0,26 a	1,90 a	28,55 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,11	0,04	0,07	0,51	5,35
<b>Reaplicação</b>					
Sem	0,13 b	0,35 a	0,31 a	2,03 a	27,22 a
Com	0,29 a	0,35 a	0,28 a	2,07 a	30,06 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,11	0,04	0,07	0,51	5,35
<b>C.V. (%)</b>	9,68	14,07	25,71	14,51	27,02
	<b>0,20-0,40 m</b>				
<b>Plantio</b>					
Testemunha	0,12 a	0,34 a	0,32 a	0,74 a	12,58 a
Acido Bórico	0,22 a	0,36 a	0,32 a	0,74 a	12,75 a
Borogran	0,15 a	0,38 a	0,35 a	0,78 a	12,00 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,16	0,09	0,12 a	0,16	1,89
<b>Foliar</b>					
Sem	0,19 a	0,36 a	0,36 a	0,77 a	13,00 a
Com	0,14 a	0,36 a	0,30 a	0,74 a	11,89 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,10	0,06	0,08	0,11	1,28
<b>Reaplicação</b>					
Sem	0,10 b	0,35 a	0,32 a	0,75 a	12,55 a
Com	0,22 a	0,37 a	0,34 a	0,66 a	12,34 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,10	0,06	0,08 a	0,11	1,28
<b>C.V. (%)</b>	9,53	23,62	34,03	20,52	14,85

Nota: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.  
Fonte: Elaboração do próprio autor.

## 4.2 Concentração dos nutrientes nas folhas

### 4.2.1 Macronutrientes

O residual das fontes de B, bem como as aplicações de B via foliar e reaplicações do nutriente em cobertura, não influenciaram as concentrações de macronutrientes nas folhas durante a condução do experimento (Tabela 14, 15, 16 e 17). Fato este esperado, pois as

fontes de B não continham macronutrientes em suas composições, à exceção do borogran que contém S (10% de S-SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>).

**Tabela 14** - Concentrações de macronutrientes em folhas de eucalipto aos 30 meses após o plantio em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2014.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
	<b>g kg<sup>-1</sup></b>					
<b>Plantio</b>						
Testemunha	15,66 a	1,38 a	5,83 a	6,56 a	2,59 a	1,13 a
Acido Bórico	17,43 a	1,21 a	6,25 a	7,24 a	2,81 a	1,19 a
Borogran	15,47 a	1,16 a	5,83 a	7,43 a	2,69 a	1,16 a
D.M.S. (5%)	5,40	0,46	2,47	1,69	1,16	0,16
<b>Foliar</b>						
sem	16,43 a	1,30 a	6,11 a	7,23 a	2,95 a	1,20 a
com	15,94 a	1,20 a	5,83 a	6,92 a	2,44 a	1,12 a
D.M.S. (5%)	3,58	0,30	1,64	1,12	0,77	0,11
C.V. (%)	21,08	23,22	26,10	15,07	27,18	8,66

Nota: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

De modo geral, a ordem das concentrações foliares dos macronutrientes configurou-se da seguinte forma: N > Ca > K > Mg > P > S. Oguri (2012), estudando níveis de adubação em *E. urograndis*, assim como Freitas et al. (2004), em solo de textura arenosa, e Guedes (2011), também constataram a mesma sequência de acúmulo dos macronutrientes em *E. grandis*. Porém aos 66 meses após o plantio, houve a seguinte sequência: N > K > Ca > Mg > P > S, concordando com Verão et al. (2016) em povoamentos *E. urograndis* aos 7 anos de idade. Portanto, tendo em vista que, aos 66 meses após o plantio, há maior concentração foliar de K em relação ao Ca, é possível que exista maior retranslocação interna de K, conforme já verificado por Caldeira et al. (1999). Segundo Mengel e Kirkby (1978), o K é dentre os nutrientes que apresentam maior mobilidade no floema das plantas.

De acordo com a faixa adequada de nutrientes nos tecidos foliares elaborada por Gonçalves (2011), as concentrações foliares de N, em todas épocas de avaliação, ficaram abaixo da faixa adequada, situada entre 21 e 30 g kg<sup>-1</sup> de N. Contudo, não houve evidências que apontassem sintomas de deficiência de N na cultura. Sendo assim, é possível que o crescimento da cultura contribuiu para o “efeito diluição” do nutriente, proporcionando menores concentrações de N quando comparado à referência.

No presente estudo, utilizou-se 135 kg ha<sup>-1</sup> de N; 75,5 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 165 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Possivelmente, as doses de N e K utilizadas neste trabalho contribuíram para o crescimento do eucalipto, logo, favorecendo o “efeito diluição” de N, tendo em vista a

concentração do nutriente abaixo da faixa considerada adequada por Gonçalves (2011). Em plantios *E. urograndis* aos 7 anos de idade, Verão et al. (2016) também verificaram concentração foliar ( $18 \text{ g kg}^{-1}$  de N) abaixo da faixa adequada por Gonçalves (2011).

Rocha, Gonçalves e Moura (2004), estudando aplicação de lodo de esgoto em *E. grandis* aos 24 meses de idade, também constataram menores concentrações foliares de N quando comparado aos 6 meses de idade, sendo atribuído o efeito diluição como uma das possíveis causas para a redução na concentração foliar de N.

Num Latossolo Vermelho com textura médio-arenosa, Silva et al. (2008) verificaram que a aplicação de  $97,2 \text{ kg ha}^{-1}$  de N em plantios de *E. grandis*, proporcionou concentração foliar de  $24 \text{ g kg}^{-1}$  de N aos 18 meses de idade. Neste trabalho, utilizou-se  $135 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, o que pode ter contribuído para o crescimento do eucalipto, favorecendo o “efeito diluição” de N, visto que a concentração do nutriente ficou abaixo da faixa adequada por Gonçalves (2011).

**Tabela 15** - Concentrações de macronutrientes em folhas de eucalipto aos 36 meses após o plantio em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2015.

Tratamentos	$\text{g kg}^{-1}$					
	N	P	K	Ca	Mg	S
<b>Plantio</b>						
Testemunha	16,16 a	1,27 a	8,44 a	9,25 a	3,17 a	1,17 a
Acido Bórico	16,78 a	1,17 a	8,44 a	9,94 a	3,56 a	1,16 a
Borogran	15,98 a	1,14 a	8,75 a	10,58 a	3,48 a	1,15 a
D.M.S. (5%)	3,31	0,25	2,00	2,00	0,77	0,13
<b>Foliar</b>						
Sem	16,72 a	1,21 a	8,54 a	10,30 a	3,50 a	1,19 a
Com	15,89 a	1,17 a	8,54 a	9,55 a	3,31 a	1,13 a
D.M.S. (5%)	2,23	0,17	1,35	1,35	0,52	0,09
<b>Reaplicação</b>						
Sem	16,18 a	1,25 a	8,96 a	9,83 a	3,29 a	1,16 a
Com	16,43 a	1,14 a	8,13 a	10,01 a	3,52 a	1,16 a
D.M.S. (5%)	2,23	0,17	1,35	1,35	0,52	0,09
C.V. (5%)	19,80	7,15	22,82	19,63	22,11	11,13

Nota: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Outra questão a ser considerada são as diferenças entre concentrações foliares de nutrientes para espécies de eucalipto, principalmente, macronutrientes (HAAG et al., 1976). Assim, tal situação dificulta a interpretação dos resultados analíticos e a tomada de decisão, para a recomendação de adubação. A exemplo, considerando a faixa adequada de N

preconizada por Gonçalves (1995), a concentração foliar de N do atual trabalho situa-se dentro da faixa considerada adequada para a cultura.

Assim como existe variações nas concentrações foliares de nutrientes dependendo das espécies de eucalipto, Assis, Ferreira e Gargnelutti Filho (2006) comentaram que a época de amostragem também proporciona variação nas concentrações de nutrientes nas folhas. Os autores verificaram que as menores concentrações foliares de nutrientes são constatadas em períodos mais secos do ano. Neste trabalho, notou-se a redução da concentração de K nas folhas durante os períodos mais secos (30 e 42 meses após o plantio – inverno) quando comparado aos 36 meses após o plantio (verão). Na mesma área experimental, Gazola (2014) também verificou redução da absorção de K nos períodos mais secos do ano. De acordo com Malavolta (2006), o K movimenta-se no solo por difusão, ou seja, à curta distância dentro da fase aquosa (solução do solo) estacionária, e a favor do gradiente de concentração, portanto, dependente da umidade do solo.

Além da importância de monitorar o estado nutricional da cultura, e assim, dimensionar a tomada de decisão no manejo de adubação, vários estudos relataram a relação entre o estado nutricional e produtividade da cultura. Bellote e Ferreira (1993) verificaram em plantios de *E. grandis*, aos três anos de idade, correlações positivas entre as concentrações de K e Mg nas folhas com a altura das plantas. Silveira et al. (1998) também constataram ajustes de equação linear crescente entre concentração foliar de K e produtividade de *E. saligna*. Segundo os autores, altas produtividades foram verificadas quando a cultura proporcionou concentração de K acima de  $6,4 \text{ g kg}^{-1}$ . No presente trabalho, somente aos 36 meses após o plantio, a média das concentrações de K nas folhas mantiveram-se acima de  $6,4 \text{ g kg}^{-1}$  de K, mesmo o solo apresentando teores de K classificados como baixos para a cultura, de acordo com Raij et al. (1997).



**Tabela 16** - Concentrações de macronutrientes em folhas de eucalipto aos 42 meses após o plantio em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2015.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg <sup>-1</sup>					
<b>Plantio</b>						
Testemunha	16,97 a	0,96 a	5,56 a	6,68 a	1,82 a	1,45 a
Acido Bórico	17,67 a	1,03 a	5,33 a	7,50 a	2,05 a	1,50 a
Borogran	17,19 a	0,99 a	6,35 a	7,24 a	1,85 a	1,38 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	3,54	0,21	1,96	2,60	0,32	0,25
<b>Foliar</b>						
Sem	18,27 a	1,06 a	5,63 a	7,45 a	1,94 a	1,46 a
Com	16,00 a	0,91 a	5,91 a	6,73 a	1,86 a	1,43 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	2,36	0,17	1,30	1,73	0,21	0,21
<b>Reaplicação</b>						
Sem	17,22 a	0,98 a	5,58 a	7,26 a	2,01 a	1,54 a
Com	17,36 a	1,01 a	5,98 a	8,32 a	2,22 a	1,34 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	2,36	0,17	1,30	1,73	0,21	0,21
<b>C.V. (%)</b>	13,40	13,67	22,27	23,98	11,06	11,50

Nota: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

De acordo com a faixa considerada adequada de nutrientes nos tecidos foliares elaborada por Gonçalves (2011), constatou-se, de modo geral, que as concentrações de P, K, Ca, Mg e S nas folhas ficaram dentro da faixa adequada para a cultura. Segundo o autor, têm-se as seguintes faixas das espécies de *Eucalyptus* mais plantadas no Brasil: P de 1 a 3 g kg<sup>-1</sup>; K de 5,5 a 8,5 g kg<sup>-1</sup>; Ca de 3,5 a 6,0 g kg<sup>-1</sup>; Mg 2 a 3 g kg<sup>-1</sup> e S de 0,5 a 1,5 g kg<sup>-1</sup>.

Aos 42 meses de idade em *E. grandis*, Ferraz (2009) verificou que aplicações de 108 kg ha<sup>-1</sup> de N, 96 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 156 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O proporcionaram as seguintes concentrações de macronutrientes: N: 16,2 g kg<sup>-1</sup>; P: 0,9 g kg<sup>-1</sup>; K: 2,2 g kg<sup>-1</sup>; Ca: 3,2 g kg<sup>-1</sup>; Mg: 2,5 g kg<sup>-1</sup>; S: 0,6 g kg<sup>-1</sup>. Comparando tais concentrações com o presente estudo, constatou-se que, aos 42 meses após o plantio, o clone I144 apresentou maiores concentrações de nutrientes, principalmente K, Ca e S.

**Tabela 17** - Concentrações de macronutrientes em folhas de eucalipto aos 66 meses após o plantio em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2017.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
	<b>g kg<sup>-1</sup></b>					
<b>Plantio</b>						
Testemunha	18,43 a	1,76 a	5,59 a	5,46 a	2,48 a	1,50 a
Acido Bórico	18,99 a	1,68 a	5,60 a	5,37 a	2,52 a	1,53 a
Borogran	18,68 a	1,79 a	5,18 a	5,52 a	2,67 a	1,45 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	1,29	0,14	0,63	0,50	0,49	0,14
<b>Foliar</b>						
Sem	18,45 a	1,74 a	5,64 a	5,48 a	2,56 a	1,47 a
Com	18,95 a	1,74 a	5,27 a	5,41 a	2,54 a	1,52 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,87	0,10	0,43	0,34	0,33	0,10
<b>Reaplicação</b>						
Sem	18,45 a	1,76 a	5,52 a	5,53 a	2,52 a	1,42 b
Com	18,95 a	1,74 a	5,39 a	5,37 a	2,58 a	1,56 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,87	0,10	0,43	0,34	0,33	0,10
<b>C.V. (%)</b>	6,71	7,93	11,33	8,97	18,60	9,13

Nota: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Verificou-se aos 66 meses após o plantio que as aplicações de B em cobertura influenciaram positivamente as concentrações foliares de S na planta, indicando, possivelmente, efeito sinérgico. Não há trabalhos que relataram este efeito no eucalipto, contudo, em goiabeira, pertencente à mesma Família do eucalipto (Myrtaceae), Salvador et al. (2003) também verificaram maiores concentrações foliares de S, em função do aumento das doses de B no solo.

#### 4.2.2 Micronutrientes

O residual das fontes de B aplicadas no sulco de plantio não influenciou as concentrações foliares dos micronutrientes aos 30 meses após plantio. Todavia, as duas aplicações de B via foliar, aos quatro e dez meses após o plantio, proporcionaram, mesmo após 20 meses da última aplicação, maiores concentrações de B nas folhas (Tabela 18). Este aumento na concentração de B não se traduziu em benefícios para a cultura, contudo, houve efeito positivo na concentração do nutriente no folheto, contribuindo, assim, para o ciclo biogeoquímico e resultando em maior transferência de B ao solo. Silva et al. (2015) também verificaram que aplicação foliar de B melhorou o estado nutricional de mudas de eucalipto submetidas ao estresse hídrico. José et al. (2009) comentaram que aplicações foliares de B seria uma alternativa, principalmente em períodos secos do ano, uma vez que a absorção de B

pela raiz ocorre com menor intensidade nesses períodos. Neste trabalho, embora houve a melhora no estado nutricional da cultura com as aplicações foliares de B, as concentrações foliares de B foram consideradas adequadas para a cultura, segundo Gonçalves (2011), independente do residual das aplicações foliares.

**Tabela 18** - Concentrações de micronutrientes em folhas de eucalipto aos 30 meses após o plantio em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2014.

Tratamentos	B	Cu	Zn	Mn	Fe
	mg kg <sup>-1</sup>				
<b>Plantio</b>					
Testemunha	31,91 a	22,17 a	17,33 a	1117,17 a	128,50 a
Acido Bórico	33,64 a	30,00 a	16,33 a	1261,33 a	132,67 a
Borogran	38,53 a	21,50 a	15,67 a	1306,67 a	140,50 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	10,07	11,39	3,56	378,05	64,46
<b>Foliar</b>					
Sem	30,33 b	25,22 a	17,11 a	1256,00 a	123,11 a
Com	39,05 a	23,89 a	15,78 a	1200,78 a	144,67 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	6,68	7,55	2,36	250,75	42,76
<b>C.V. (%)</b>	18,33	29,29	13,67	19,43	30,40

Nota: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Estudando fontes de B com diferentes solubilidades (ulexita e borato de sódio) em sítios florestais no Uruguai, Ferrando e Zamalvide (2012) constataram que as aplicações de B em cobertura, aos 6 e 18 meses de idade, fornecendo 4 g planta<sup>-1</sup> de B, não resultaram em diferença nas concentrações foliares de B, independente da fonte utilizada, até 24 meses após a primeira aplicação do nutriente. Portanto, concluíram que fontes de média e alta solubilidade em água proporcionaram concentrações foliares de B dentro da faixa considerada adequada para a cultura. Neste presente estudo, a hipótese inicial seria que, possivelmente, o fertilizante borogran, em virtude da liberação lenta do nutriente, proporcionaria maior efeito residual de B ao solo, e assim, este ficaria disponível por mais tempo na solução do solo, favorecendo sua absorção pelas raízes. Contudo, aos 30 meses após o plantio, não houve diferença entre fontes de B, visto que ambas proporcionaram concentrações foliares adequadas para o eucalipto, de acordo com Gonçalves (2011).

Cabe destacar que as fontes de B também não diferiram dos tratamentos submetidos à omissão de B no plantio. Diante dessa assertiva, possivelmente, o teor médio de B, verificado nos atributos químicos iniciais, foi suficiente para suprir a necessidade da cultura até os 30 meses após o plantio, independente da aplicação ou não de B no sulco de plantio, ou, então, a menor disponibilidade hídrica aos 30 meses após o plantio (Figura 1 B), influenciou a

absorção do nutriente, bem como a menor decomposição da serapilheira neste período. A água é o principal veículo no processo de transporte do nutriente do solo até a raiz, sendo o fluxo de massa, o principal mecanismo de contato íon-raiz. Assim, o menor fluxo transpiracional limita a absorção de B pela planta, mesmo este presente na solução do solo (MALAVOLTA et al., 1997; MATTIELLO et al., 2009).

De acordo com a faixa considerada adequada proposta por Gonçalves (2011), as concentrações foliares de B, Zn e Fe se situam nesta faixa, porém, Cu e Mn apresentaram concentrações foliares acima da faixa considerada adequada. As seguintes faixas para concentrações foliares das espécies de eucalipto mais plantas no Brasil são: B de 30 a 60 mg kg<sup>-1</sup>; Cu de 7 a 10 mg kg<sup>-1</sup>; Zn de 10 a 18 mg kg<sup>-1</sup>; Mn de 100 a 800 mg kg<sup>-1</sup> e Fe de 70 a 200 mg kg<sup>-1</sup>.

O residual das fontes de B, bem como as aplicações foliares de B e a reaplicação do nutriente em cobertura, influenciaram positivamente a concentração foliar de B (Tabela 19). Em relação às fontes de B aplicadas no sulco de plantio, constatou-se maior concentração foliar de B proveniente da aplicação do fertilizante borogran quando comparado à testemunha. Porém, aos 36 meses após o plantio, ambas as fontes de B apresentaram boa disponibilidade para a cultura, uma vez que a concentração foliar do nutriente ficou dentro da faixa considerada adequada proposta por Gonçalves (2011). Cabe destacar que, aos 36 meses após o plantio, o fertilizante borogran proporcionou maiores teores de B no solo quando comparado à testemunha, e teores de B no solo semelhantes à aplicação de ácido bórico (Tabela 8).

Em povoamento de pinus, Hunter, Will e Skinner (1990) constataram durante quatro anos consecutivos o efeito das fontes de B (borato de sódio, colemanita pó e granulada e ulexita pó e granulada) na dose de 6 kg ha<sup>-1</sup> de B. Segundo os autores, as fontes menos solúveis em água (colemanita e ulexita) proporcionaram maior efeito residual de B ao solo, garantindo concentração foliar de B adequada para a cultura. Todavia, o borato de sódio, logo no primeiro ano, propiciou sintomas de excesso de B nas plantas, associado à alta concentração foliar de B (80 mg kg<sup>-1</sup> de B). Não se verificou sintomas de toxidez do elemento no presente estudo, quando se fez o uso do fertilizante mais solúvel (ácido bórico), tendo em vista que a dose aplicada no presente estudo é uma dose considerada baixa para solos de textura arenosa que apresentam baixo teor de M.O.

**Tabela 19** - Concentrações de micronutrientes em folhas de eucalipto aos 36 meses após o plantio em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2015.

Tratamentos	B	Cu	Zn	Mn	Fe
	mg kg <sup>-1</sup>				
<b>Plantio</b>					
Testemunha	50,52 b	22,67 a	16,75 a	1207,42 a	130,33 a
Acido Bórico	57,97 ab	27,33 a	16,33 a	1230,25 a	124,08 a
Borogran	60,87 a	22,58 a	16,08 a	1352,83 a	132,42 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	10,16	8,75	2,82	219,57	35,00
<b>Foliar</b>					
Sem	52,34 b	25,11 a	16,89 a	1333,17 a	128,06 a
Com	60,56 a	23,28 a	15,89 a	1193,83 a	129,83 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	6,85	5,90	1,90	147,94	23,59
<b>Reaplicação</b>					
Sem	48,86 b	24,56 a	16,44 a	1228,39 a	133,89 a
Com	64,05 a	23,83 a	16,33 a	1298,61 a	124,00 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	6,85	5,90	1,90	147,94	23,59
<b>C.V. (%)</b>	17,55	17,79	16,78	16,94	26,46

Nota: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

As aplicações de B via foliar, mesmo após 20 e 26 meses da última aplicação, ainda proporcionaram maiores concentrações do nutriente nas folhas. Entretanto, este efeito não se traduziu em benefícios para a produtividade do eucalipto. É possível que à longo prazo, a maior concentração do nutriente na folha favoreça o ciclo biogeoquímico, proporcionando maior transferência de B ao solo pela deposição do folheto. Dahmardeh, Mehravaran e Naderi (2011) relataram que são necessários mais estudos que comprovem a eficiência da adubação foliar em florestas de eucalipto, ainda mais com B, que em virtude de sua imobilidade no floema em várias espécies, é discutível sua aplicação nas folhas (FAQUIN, 2005). José et al. (2009) comentaram que aplicações foliares pode ser uma estratégia em períodos secos do ano, uma vez que a absorção no nutriente pelas raízes ocorre com menor intensidade. No mesmo cultivo, aos 18 e 24 meses após o plantio, Celestrino (2014) constatou que aplicações foliares de B acrescentaram as concentrações foliares de B, porém, sem interferir nas variáveis dendrométricas.

A reaplicação de B em cobertura proporcionou incremento médio de 31% na concentração foliar de B, ficando esta ligeiramente acima da faixa considerada adequada por Gonçalves (2011). Essa reaplicação de B também contribuiu para o acréscimo no teor de B do solo, e se traduziu em efeito benéfico para a cultura, uma vez que se constataram ganhos volumétricos de madeira, aos 36 meses após o plantio, com esta reaplicação.

A água é o principal veículo no processo de transporte do nutriente do solo até a raiz, sendo este predominantemente por fluxo de massa. Nesse sentido, o menor fluxo transpiracional limita a absorção de B pelas raízes, mesmo este presente na solução do solo (MALAVOLTA et al., 1997; MATTIELLO et al., 2009). Portanto, comparando o período de maior e menor disponibilidade hídrica no solo, 36 e 30 meses após o plantio, respectivamente, verificaram-se maiores concentrações foliares de B no período com maior disponibilidade hídrica, sugerindo-se, assim, maiores ocorrências de deficiência deste nutriente em períodos secos do ano.

De acordo com a faixa considerada adequada proposta por Gonçalves (2011), as concentrações foliares de B, Zn e Fe se situam nesta faixa, porém, Cu e Mn apresentaram concentrações foliares acima da faixa considerada adequada. As seguintes faixas para concentrações foliares das espécies de eucalipto mais plantas no Brasil são: B de 30 a 60 mg kg<sup>-1</sup>; Cu de 7 a 10 mg kg<sup>-1</sup>; Zn de 10 a 18 mg kg<sup>-1</sup>; Mn de 100 a 800 mg kg<sup>-1</sup> e Fe de 70 a 200 mg kg<sup>-1</sup>.

Verificou-se aos 42 meses após o plantio que a reaplicação de B em cobertura influenciou positivamente a concentração foliar do nutriente (Tabela 20), uma vez que, possivelmente, houve acréscimo deste nutriente no solo, contribuindo, assim, para o fornecimento de B às plantas. O incremento médio de 10% na concentração foliar de B com a reaplicação de B se traduziu em efeito benéfico para a cultura, pois houve ganhos volumétricos aos 42 meses após o plantio. Ramos et al. (2009), num Latossolo Vermelho, também relataram o acréscimo de B foliar, após 140 dias da aplicação de doses de B (0,0; 0,25; 0,75; 2,25; 6,25 mg kg<sup>-1</sup> de B) em *C. citriodora*.

O residual das fontes de B, assim como as aplicações foliares de B, não influenciaram as concentrações dos micronutrientes (Tabela 20). Cabe destacar que as fontes de B também não diferiram da testemunha, sendo, possivelmente, em virtude da dose aplicada (0,750 g planta<sup>-1</sup> de B), associada à baixa precipitação pluvial neste período (Figura 1 C). Estudando fontes de B (ulexita e borato de sódio) em sítios florestais de eucalipto no Uruguai, Ferrando e Zamalvide (2012) constataram que a aplicação de 4 g planta<sup>-1</sup> de B, de ambas as fontes, proporcionaram concentrações foliares semelhantes de B, contudo, essas concentrações foram superiores quando comparada à testemunha. Neste presente trabalho, com base nos teores de B no solo (aos 36 meses após o plantio), é possível que a não constatação de diferença entre fontes de B e testemunha esteja relacionado à dose utilizada, uma vez que os teores de B no solo, independente do tratamento, são semelhantes.

**Tabela 20** - Concentrações de micronutrientes em folhas de eucalipto aos 42 meses após o plantio em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2015.

Tratamentos	B	Cu	Zn	Mn	Fe
	mg kg <sup>-1</sup>				
<b>Plantio</b>					
Testemunha	32,48 a	26,00 a	15,00 a	1232,00 a	206,17 a
Acido Bórico	34,14 a	26,75 a	15,58 a	1206,83 a	236,92 a
Borogran	36,27 a	25,75 a	15,46 a	1233,33 a	181,83 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	4,30	2,07	1,51	170,35	65,03
<b>Foliar</b>					
Sem	35,46 a	26,67 a	15,39 a	1267,67 a	208,83 a
Com	36,13 a	25,67 a	15,30 a	1180,44 a	237,78 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	2,90	1,39	1,02	114,78	43,82
<b>Reaplicação</b>					
Sem	32,66 b	26,17 a	14,86 a	1208,33 a	207,83 a
Com	35,93 a	26,17 a	15,83 a	1239,78 a	208,78 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	2,90	1,39	1,02	114,78	43,82
<b>C.V. (%)</b>	12,23	7,71	9,58	13,56	30,40

Nota: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Num Latossolo Vermelho Amarelo com teor baixo de B, Brighenti e Muller (2014) estudaram o controle do capim-braquiária em mogno-africano associado ou não à nutrição com B. Segundo os autores, a associação de herbicidas (glyphosate + chlorimuron-ethyl, glyphosate + imazethapyr, glyphosate ou oxyfluorfen) e 4 kg de ácido bórico (17% B) em 100 L ha<sup>-1</sup> de água não interferiu no controle do capim-braquiária e proporcionou aumento do teor de B no solo, e, por conseguinte, influenciou positivamente a concentração foliar de B no mogno-africano. Nesse sentido, operações que controlam plantas daninhas e, ao mesmo tempo, fornece B às plantas, possivelmente, pode reduzir os custos de produção, além de beneficiar o estabelecimento inicial de povoamentos florestais.

De acordo com a faixa considerada adequada proposta por Gonçalves (2011), as concentrações foliares de B e Zn se situam nesta faixa, porém, Cu, Mn e Fe apresentaram concentrações foliares acima da faixa considerada adequada. As seguintes faixas para concentrações foliares das espécies de eucalipto mais plantas no Brasil são: B de 30 a 60 mg kg<sup>-1</sup>; Cu de 7 a 10 mg kg<sup>-1</sup>; Zn de 10 a 18 mg kg<sup>-1</sup>; Mn de 100 a 800 mg kg<sup>-1</sup> e Fe de 70 a 200 mg kg<sup>-1</sup>.

O residual das fontes de B, bem como as reaplicações de B em cobertura, influenciaram positivamente a concentração foliar de B aos 66 meses após o plantio (Tabela 21). Notou-se que estas reaplicações promoveram incremento de 13% na concentração foliar de B, sendo suficiente para o incremento volumétrico de madeira neste período. Embora o

ciclo biogeoquímico contribua para fornecimento de B às plantas, vale ressaltar que a não reaplicação do nutriente em cobertura proporciona concentrações de B próximas ao limite inferior da faixa adequada proposta por Gonçalves (2011). Assim, as reaplicações de B, fornecendo 2 kg ha<sup>-1</sup> de B em cobertura, proporcionou concentração de 36,00 mg kg<sup>-1</sup> de B nas folhas do clone I144 aos 66 meses de idade, e, as subparcelas que não receberam tais reaplicações apresentaram valores médios de 31,83 mg kg<sup>-1</sup> de B nas folhas. Em Argissolo Vermelho com teor médio de B, Dick et al. (2017) verificaram que a dose de 2,78 kg ha<sup>-1</sup> de B, aplicada no plantio, proporcionou concentração de 32,19 mg kg<sup>-1</sup> de B nas folhas de povoamento de *E. dunnii* aos 60 meses de idade.

**Tabela 21** - Concentrações de micronutrientes em folhas de eucalipto aos 66 meses após o plantio em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2017.

Tratamentos	B	Cu	Zn	Mn	Fe
	mg kg <sup>-1</sup>				
<b>Plantio</b>					
Testemunha	30,92 b	16,75 a	14,25 a	535,42 a	157,67 a
Acido Bórico	34,25 ab	19,67 a	15,25 a	542,08 a	131,67 a
Borogran	36,58 a	13,58 a	15,25 a	567,00 a	156,25 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	4,76	14,53	2,27	104,70	30,06
<b>Foliar</b>					
Sem	34,00 a	14,67 a	14,56 a	512,50 a	156,83 a
Com	33,83 a	18,67 a	15,28 a	583,83 a	140,22 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	3,21	9,79	1,53	74,55	20,25
<b>Reaplicação</b>					
Sem	31,83 b	20,39 a	14,61 a	523,55 a	138,83 a
Com	36,00 a	12,94 a	15,22 a	572,78 a	158,22 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	3,21	9,79	1,53	74,55	20,25
<b>C.V. (%)</b>	13,69	35,00	14,84	18,62	19,72

Nota: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.  
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Em Latossolo Vermelho com teor médio de B, Silva (2011) estudou o impacto das doses de N, P e K na produtividade, lixiviação e ciclagem de nutrientes em plantações de *E. grandis*, e verificou aos 18 meses após o plantio que a dose de 1,26 kg ha<sup>-1</sup> de B foi suficiente para proporcionar concentração foliar de B dentro da faixa adequada proposta por Gonçalves (2011). Neste trabalho, o residual das fontes de B ainda proporciona concentrações foliares de B dentro daquela faixa, contudo, as variáveis dendrométricas foram superiores com as reaplicações do nutriente em cobertura. Portanto, destaca-se a importância de estudos que objetivam calibrações de doses, principalmente micronutrientes, e que considerem o clone e as condições edafoclimáticas locais.



De acordo com a faixa considerada adequada proposta por Gonçalves (2011), as concentrações foliares de B, Zn, Fe e Mn se situam nesta faixa, porém, somente Cu apresentou concentrações foliares acima da faixa considerada adequada. As seguintes faixas para concentrações foliares das espécies de eucalipto mais plantas no Brasil são: B de 30 a 60 mg kg<sup>-1</sup>; Cu de 7 a 10 mg kg<sup>-1</sup>; Zn de 10 a 18 mg kg<sup>-1</sup>; Mn de 100 a 800 mg kg<sup>-1</sup> e Fe de 70 a 200 mg kg<sup>-1</sup>.

Em relação às médias das concentrações foliares de micronutrientes, de modo geral, o clone I144 apresentou concentrações decrescentes da seguinte forma: Mn>Fe>B>Cu>Zn. Assim, verifica-se que durante as avaliações das concentrações dos nutrientes, a sequência decrescente da concentração foliar dos micronutrientes não se alterou. Possivelmente, tal fato esteja relacionado à baixa retranslocação dos micronutrientes na planta.

Verificou-se também, aos 66 meses após o plantio, a diferença na concentração de B entre folhas de diferentes posições na planta. Assim, notou-se que as folhas do terço inferior apresentaram maiores concentrações foliares de B quando comparado às folhas do terço superior (Tabela 22).

**Tabela 22** - Concentrações de B inferior e superior em folhas de eucalipto aos 66 meses após o plantio em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2017.

Folha	B
	mg kg <sup>-1</sup>
Inferior	39,06 a
Superior	33,92 b
<b>D.M.S. (5%)</b>	2,57
<b>C.V. (%)</b>	14,97

Nota: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

A maior concentração de B em folhas do terço inferior indica, possivelmente, a baixa mobilidade do elemento dentro na planta, proporcionando assim, maiores concentrações de B em folhas mais velhas. De acordo com Faquin (2005), o B é caracterizado pela mobilidade restrita no floema. Portanto, acumula-se em pontos de crescimento de folhas e ramos, permanecendo imóvel na planta após seu transporte via xilema (BROWN; HU, 1998).

Mattiello et al. (2009b) comentaram que a maior concentração de B em folhas maduras pode ser indicativo de redistribuição restrita de B; todavia, maior concentração do nutriente em folhas jovens sugere a redistribuição do elemento. No presente estudo, folhas jovens proporcionaram menores concentrações de B, sugerindo então a imobilidade do B. Contudo, pesquisas verificaram que o B é o único entre todos os nutrientes minerais

essenciais para as plantas que apresenta mobilidade restrita em algumas espécies e em outras apresenta mobilidade no floema. Tem-se verificado que tal mobilidade no floema é encontrada apenas em espécies que sintetizam quantidades significativas de polióis (açúcares simples) como metabólito fotossintético, a exemplo, o sorbitol, manitol e dulcitol (HU; BROWN, 1997). Nesse sentido, a formação de complexos poliól-B-poliól influencia o transporte de B no floema até os drenos ativos, como meristemas vegetativos e reprodutivos (HU et al., 1996).

De acordo com José et al. (2009), o entendimento acerca da mobilidade de B em eucalipto é de suma relevância, principalmente visando a seleção de clones mais eficientes para uso desse nutriente, além da perspectiva de novas práticas de fertilização com B. Esses autores verificaram que o clone 129 foi menos sensível à deficiência de B quando comparado aos clones 68 e 57, sendo atribuído tal fato à maior translocação de B no clone 129, quando houve a interrupção do fornecimento deste nutriente na solução.

Em casa de vegetação, Mattiello et al. (2009b) verificaram que o B aplicado no terço inferior da copa foi retranslocado para folhas do ápice, proporcionando incremento na concentração foliar, independente do clone ou regime hídrico. Leite, Marino e Bonine (2010) também constataram gradiente de concentração de B entre folhas de eucalipto de diferentes idades e posição na planta. Os autores notaram que a concentração foliar de B na região apical do caule foi superior à região basal, evidenciando assim, a mobilidade de B em eucalipto. Entretanto, neste trabalho, o terço inferior apresentou maiores concentrações foliares de B quando comparado ao terço superior, indicando mobilidade restrita desse nutriente.

Ramos et al. (2009), estudando doses de B em *C. citriodora*, verificaram assim como no presente estudo, maiores concentrações de B em folhas mais velhas quando comparada às folhas jovens. Segundo os autores, a umidade do solo também influencia o aproveitamento de B pelas plantas, uma vez que o principal mecanismo de contato íon-raiz é, predominantemente, o fluxo de massa (FAQUIN, 2005).

### **4.3 Acúmulo de B na biomassa**

Verificou-se aos 66 meses após o plantio que o residual das fontes de B aplicadas no plantio, assim como as aplicações de B via foliar, não influenciaram o acúmulo de B nos diferentes compartimentos da biomassa. Contudo, as reaplicações de B em cobertura influenciaram positivamente o acúmulo de B no tronco da biomassa (Tabela 23). Cabe destacar que há poucos trabalhos que verificaram o efeito da adubação boratada nas

quantidades de B acumulado nos compartimentos das árvores de eucaliptos. Tendo em vista que o B é componente da estrutura da parede celular (EPSTEIN; BLOOM, 2006), é possível que a maior disponibilidade deste nutriente no solo, em virtude de sua reaplicação, influenciou positivamente o acúmulo de B no tronco.

**Tabela 23** – Acúmulo de B no tronco, galhos e folhas do eucalipto aos 66 meses após o plantio em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2017.

Tratamentos	Tronco	Galhos	Folhas
	g ha <sup>-1</sup> de B		
<b>Plantio</b>			
Testemunha	409,86 a	87,46 a	161,27 a
Acido Bórico	515,70 a	91,49 a	155,72 a
Borogran	520,44 a	83,05 a	171,50 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	151,85	27,47	49,65
<b>Foliar</b>			
Sem	470,05 a	94,09 a	149,84 a
Com	550,94 a	80,57 a	175,82 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	102,32	18,51	33,46
<b>Reaplicação</b>			
Sem	378,68 b	80,78 a	165,64 a
Com	583,31 a	93,88 a	160,02 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	102,32	18,51	33,46
<b>C.V. (%)</b>	30,77	30,66	29,72

Nota: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Em Argissolo Vermelho, Dick et al. (2017) verificaram em povoamento de *E. dunnii* aos 60 meses de idade a quantidade de 114,27 g ha<sup>-1</sup> de B nas folhas; 75,46 g ha<sup>-1</sup> de B nos galhos; 90,21 g ha<sup>-1</sup> de B na madeira do tronco e 115,45 g ha<sup>-1</sup> de B na casca do tronco. Corroborando com o presente estudo, as folhas foram os órgãos que apresentaram maior concentração do nutriente, uma vez que são regiões metabolicamente mais ativas, quando comparado aos galhos e madeira (GONÇALVES; VALERI, 2001). Todavia, não houve o maior acúmulo de B naquela fração, tendo em vista a quantidade elevada de biomassa produzida no tronco, resultando em acúmulo de B aproximadamente três vezes superior ao acúmulo do nutriente na fração folhas.

Embora haja menor acúmulo de B nas frações galhos e folhas quando comparado ao tronco, a sua permanência sobre solo pode reduzir a exportação dos nutrientes do sítio florestal, contribuindo para a manutenção da fertilidade do solo e nutrição das árvores ao longo do tempo. Verificou-se que a manutenção de galhos e folhas sobre o solo, neste trabalho, contribuiu com 249 g ha<sup>-1</sup> de B, enquanto que Dick et al. (2017), em *E. dunnii* aos

60 meses de idade, constataram 189,73 249 g ha<sup>-1</sup> de B naquelas frações. Segundo os autores, a manutenção dos resíduos florestais no sítio florestal após a colheita é indispensável para a nutrição florestal ao longo do tempo.

Vogel, Schumacher e Truby (2015), estudando micronutrientes na biomassa acima do solo em floresta subtropical no Rio Grande do Sul, verificaram produção de biomassa acima do solo de 210,0 Mg ha<sup>-1</sup>, sendo os galhos (1,2 kg ha<sup>-1</sup> de B) e madeira (0,45 kg ha<sup>-1</sup> de B) os compartimentos com maior acúmulo de B, em razão da maior biomassa nessas frações. Também em Florestas no Rio Grande do Sul, sendo essas Estacional Decidual, Brun et al. (2010) constataram maiores acúmulo de B na fração galhos: 590 g ha<sup>-1</sup> de B, seguido de madeira: 345 g ha<sup>-1</sup> de B, casca: 273 g ha<sup>-1</sup> de B e folhas: 151 g ha<sup>-1</sup> de B. Comparando com o presente estudo, verificou-se comportamento diferente das florestas, quanto à alocação deste nutriente nos compartimentos. Neste trabalho, a madeira foi o componente que mais alocou B em sua biomassa, com mais de 60% do B total acumulado da parte aérea. A produção de biomassa dos compartimentos folhas e galhos foram semelhantes, contudo, uma vez que há maior concentração de B na fração folha, houve maior acúmulo do nutriente nesta fração (162 g ha<sup>-1</sup> de B) quando comparado aos galhos.

Carvalho (2014), estudando a biomassa e nutrientes em um povoamento de *E. urograndis* aos 4,5 anos de idade, em solo de textura arenosa, constatou a seguinte ordem decrescente de acúmulo de B: folhas (147,07 g ha<sup>-1</sup> de B); galhos (92,93 g ha<sup>-1</sup> de B); casca (73,40 g ha<sup>-1</sup> de B) e madeira (70,06 g ha<sup>-1</sup> de B). Em plantios de *E. saligna* aos 4 anos de idade, Beulch (2013) também verificou a ordem decrescente de acúmulo de B: 170,84 g ha<sup>-1</sup> de B nas folhas; 82,07 g ha<sup>-1</sup> de B nos galhos e 319,36 g ha<sup>-1</sup> de B na madeira. Neste trabalho, corroborando com os autores supracitados, o clone I144 aos 5,5 anos apresentou a seguinte ordem: tronco (490 g ha<sup>-1</sup> de B); folhas (162 g ha<sup>-1</sup> de B) e galhos (87 g ha<sup>-1</sup> de B). Comparando os resultados, notou-se que o acúmulo de B nas frações folhas e galhos, mesmo sendo um povoamento mais velho (5,5 anos), foram semelhantes aos verificados por Carvalho (2014) e Beulch (2013). Porém, houve maior variação na fração madeira, sendo este fato atribuído, provavelmente, pela diferença de idade entre povoamentos e nível de adubação.

Em povoamentos jovens (18 meses de idade) de *E. urograndis*, Vieira et al. (2012) verificaram a seguinte ordem decrescente quanto ao acúmulo de B: folhas (107,83 g ha<sup>-1</sup> de B), galhos (78,87 g ha<sup>-1</sup> de B) e madeira (35,95 g ha<sup>-1</sup> de B). Comparando com o presente estudo, pode-se concluir que a idade do povoamento influencia o acúmulo do nutriente nas frações ao longo do ciclo vegetativo. Portanto, povoamentos jovens, permitem a passagem de

luz, favorecendo o crescimento de galhos e folhas, e contribuindo para menor razão entre biomassa do tronco e biomassa galhos + folhas.

#### **4.4 Eficiência de utilização do boro**

Verificou-se aos 66 meses após o plantio que o residual das fontes de B aplicadas no sulco de plantio, assim como as aplicações de B via foliar, não influenciaram a eficiência de utilização do B. Contudo, as reaplicações do nutriente em cobertura proporcionaram a sua menor eficiência de utilização, quando comparado à omissão de B em cobertura (Tabela 24). Portanto, embora as reaplicações de B promovessem incremento em biomassa lenhosa, proporcionalmente houve maior acúmulo do nutriente no compartimento lenhoso (Tabela 23), resultando, assim, na menor eficiência de utilização do nutriente.

Silva (2011) também verificou aos 24 meses de idade, que os clones de eucaliptos submetidos à supressão de fertilizantes nitrogenados e potássicos, propiciaram maior eficiência de uso de N e K, produzindo, respectivamente, 734 kg e 783 kg de biomassa de tronco por quilo desses nutrientes acumulados no tronco. Assim, presumindo maiores concentrações de um determinado nutriente na solução do solo, em virtude da adubação, conseqüentemente há maior absorção de tal pela planta. Porém, quando a taxa de crescimento da cultura é menor que a taxa de absorção do nutriente, há a redução na eficiência de uso do nutriente (SILVA et al., 2002), uma vez que, segundo Barros et al. (1986), esta é definida como a razão entre a biomassa seca do tronco e mineralomassa acumulada no tronco. Estes autores também comentaram que tal eficiência é variável, alterando-se em função da disponibilidade dos nutrientes no solo. Nesse sentido, tem-se verificado, em geral, maior eficiência de utilização de nutrientes quando a disponibilidade destes no solo é menor.

**Tabela 24** – Eficiência de utilização do B no eucalipto aos 66 meses após o plantio em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2017.

<b>Tratamentos</b>	<b>Eficiência de utilização do B kg de biomassa/kg de B acumulado</b>
<b>Plantio</b>	
Testemunha	476682 a
Ácido bórico	419491 a
Borogran	461155 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	107436,10
<b>Foliar</b>	
Sem	422223 a
Com	482662 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	72389,31
<b>Replacação</b>	
Sem	523179 a
Com	381706 b
<b>D.M.S. (5%)</b>	72389
<b>C.V. (%)</b>	23,14

Nota: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.  
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Gonsaga (2017), estudando a produção de madeira e eficiência de utilização de nutrientes em clones de eucaliptos em diferentes idades, verificaram aumento na eficiência de utilização de N na madeira ao longo do tempo. Segundo o autor, este aumento com o avanço da idade indica, possivelmente, maior aproveitamento dos nutrientes absorvidos e/ou translocação deles para regiões da árvore com maior demanda nutricional. Contudo, sendo o B considerado um nutriente com baixa mobilidade no floema, e, portanto, com translocação limitada, presumisse que, ao longo do tempo, há maior acúmulo deste nutriente no tronco. Silva (2011), estudando nutrientes com maior mobilidade na planta, também constatou variação na eficiência de uso dos nutrientes em função do tempo, sendo esta maior quanto maior a idade da cultura, uma vez que o aumento proporcional da mineralomassa é inferior ao aumento da biomassa dos eucaliptos. Segundo o autor, além da idade das árvores, há fatores como herdabilidade genética, bem como condições edafoclimáticas que também podem interferir nas concentrações dos nutrientes nos diferentes compartimentos da árvore.

Silveira et al. (2002b), estudando a eficiência de uso do B para produção de matéria seca total e de caule em clones de eucalipto, constataram que o aumento do fornecimento de B reduziu a eficiência de uso nos clones analisados. Os autores verificaram que os clones A e C apresentaram a menor eficiência na utilização de B em condições de baixa disponibilidade do nutriente, logo, restringiram a utilização desses clones em solos deficientes em B. Galo (1993) e Silva et al. (1996) também verificaram em eucalipto e espécies florestais nativas,

respectivamente, que a eficiência de utilização de K na produção do tronco reduziu com o aumento da disponibilidade do nutriente no solo. Portanto, tais resultados corroboraram com o presente estudo, uma vez que, a maior disponibilidade de B no solo propiciou a redução na eficiência de uso deste para a produção de madeira. Tal fato foi atribuído ao maior incremento proporcional na concentração do nutriente no tronco, quando comparado ao aumento da biomassa lenhosa.

#### 4.5 Concentração de B no folheto e transferência de B para o solo

Aos 33 e 39 meses após o plantio houve maiores concentrações de B no folheto, em virtude das fontes de B no sulco de plantio, quando comparado à testemunha sem B. Contudo, aos 36, 45 e 48 meses após o plantio, somente o fertilizante borogran influenciou positivamente a concentração de B no folheto, quando comparado à testemunha, e esta proporcionou concentrações de B no folheto semelhantes à aplicação de ácido bórico (Tabela 25).

**Tabela 25** - Concentrações de boro no folheto de eucalipto aos 30, 33, 36, 39, 42, 45 e 48 meses após o plantio em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2014/16.

Tratamentos	Concentração de B ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) nas idades avaliadas (meses)						
	30	33	36	39	42	45	48
<b>Plantio</b>							
Testemunha	21,85 a	23,29 b	41,08 b	34,61 b	28,14 a	33,98 b	43,25 b
Acido Bórico	25,42 a	29,65 a	45,42 ab	37,78 a	30,15 a	36,42 ab	46,25 ab
Borogran	26,43 a	30,79 a	49,25 a	38,69 a	29,81 a	39,17 a	49,58 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	4,82	5,37	5,56	3,11	2,53	3,20	4,13
<b>Foliar</b>							
sem	23,45 a	26,27 a	42,94 b	36,87 a	28,05 a	36,05 a	45,72 a
com	25,69 a	29,56 a	47,56 a	37,96 a	29,68 a	36,99 a	47,00 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	3,20	3,56	3,75	2,09	1,71	2,16	2,78
<b>Reaplicação</b>							
sem	-	-	40,28 b	33,49 b	26,71 b	33,15 b	42,77 b
com	-	-	50,22 a	40,56 a	32,02 a	39,90 a	47,94 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	-	-	3,75	2,09	1,71	2,16	2,78
<b>C.V. (%)</b>	12,41	12,15	12,00	8,20	8,41	8,55	8,69

Nota: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

A hipótese inicial do presente estudo seria que, possivelmente, o fertilizante de menor solubilidade em água proporcionaria maior residual no solo, tendo em vista a liberação gradativa do nutriente, reduzindo as perdas deste, e favorecendo a sua absorção e acumulação

nas folhas. Deste modo, estas quando senescentes, proporcionariam o maior retorno do nutriente ao solo pelo ciclo biogeoquímico. Todavia, não houve diferença entre as fontes de B, uma vez que as concentrações de B no folheto foram semelhantes durante o período das avaliações. Cabe ressaltar que somente o borogran proporcionou maior concentração de B no folheto quando comparado à testemunha, sendo, portanto, indicativo das maiores perdas de B oriundo do fertilizante ácido bórico.

Neste trabalho, presumisse que as condições climáticas influenciaram as concentrações de B no folheto, uma vez que em épocas mais secas (inverno) constatou-se as menores concentrações de B ( $21,85 \text{ mg kg}^{-1}$ ), enquanto que condições com maior disponibilidade hídrica (verão) obteve-se concentrações de B superiores ( $49,58 \text{ mg kg}^{-1}$ ). A água é o principal veículo no processo de transporte do nutriente presente no solo até a raiz, sendo este predominantemente por fluxo de massa. Sabe-se que o menor fluxo transpiracional limita a absorção de B à planta, e o seu transporte via xilema, mesmo este nutriente presente na solução do solo (MALAVOLTA et al., 1997; MATTIELLO et al., 2009). No bioma Pampa, Corrêa, Schumacher e Momolli (2016) também verificaram que as estações do ano influenciaram as concentrações de B no folheto em *E. dunnii*, sendo as maiores concentrações de B no verão e as menores no inverno.

Em povoamento de *E. urophylla* x *E. globulus* com 5,5 anos de idade, Viera et al. (2014) constataram concentração de B no folheto de  $29,97 \text{ mg kg}^{-1}$ , sendo valores próximos ao encontrado por Carvalho et al. (2015), em *E. saligna Smith* aos 4,5 anos de idade. Gonçalves et al. (2000) comentaram que os micronutrientes, em geral, são acumulados em grande quantidade na serapilheira, uma vez que estes apresentam baixa mobilidade no floema. Segundo os autores, há relação positiva entre idade da folha e concentração dos nutrientes. Neste trabalho, notou-se que folhas velhas apresentaram maiores concentrações de B quando comparado às folhas mais jovens (Tabela 22).

Constatou-se também que, somente aos 36 meses após o plantio, as aplicações de B via foliar influenciaram positivamente as concentrações de B no folheto (Tabela 25). Portanto, tendo em vista que aos 30 e 36 meses após o plantio ainda há maiores concentrações de B em folhas quando se fez uso da aplicação foliar do nutriente (Tabela 18 e Tabela 19), presumisse que este maior acúmulo em folhas senescentes contribuiu para a maior concentração de B no folheto.

Verificou-se também, em todas as avaliações (36, 39, 42, 45 e 48 meses após o plantio), que as reaplicações de B em cobertura proporcionaram maiores concentrações de B no folheto (Tabela 25). Assim, as reaplicações de B favoreceram o seu acúmulo nas folhas, e,



após a senescência e abscisão, houve maior acúmulo do nutriente no folheto, com possível maior retorno deste ao solo pelo ciclo biogeoquímico. Contudo, esse efeito positivo da reaplicação de B se prolongou somente até os 60 meses após o plantio (Tabela 26). Nesse sentido, sabendo-se que o transporte do B está relacionado ao fluxo transpiracional (DECHEN; NACHTIGALL, 2006), é possível que, com o avanço da idade da cultura, o nutriente absorvido pela raiz seja transportado via xilema e acumulado no compartimento tronco, fato este verificado pela maior concentração de B no tronco nos tratamentos submetidos à reaplicação de B (Tabela 23).

**Tabela 26** - Concentrações de boro no folheto de eucalipto aos 51, 54, 57, 60, 63 e 66 meses após o plantio em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2016/17.

Tratamentos	Concentração de B ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) nas idades avaliadas (meses)					
	51	54	57	60	63	66
<b>Plantio</b>						
Testemunha	31,40 a	25,62 a	32,00 a	39,50 a	43,97 a	45,92 a
Acido Bórico	33,11 a	26,81 a	32,50 a	41,55 a	47,07 a	49,50 a
Borogran	31,55 a	25,58 a	31,00 a	41,81 a	47,23 a	51,50 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	3,27	2,76	3,44	3,98	4,66	7,24
<b>Foliar</b>						
sem	31,62 a	25,70 a	31,78 a	41,49 a	46,47 a	50,05 a
com	32,42 a	26,31 a	31,89 a	40,42 a	45,71 a	47,89 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	2,20	1,86	2,32	2,68	3,14	4,88
<b>Reaplicação</b>						
sem	29,45 b	24,43 b	30,44 b	39,53 b	46,18 a	48,61 a
com	34,59 a	27,57 a	33,22 a	42,38 a	46,00 a	49,33 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	2,20	1,86	2,32	2,68	3,14	4,88
<b>C.V. (%)</b>	9,96	5,04	10,54	9,47	9,85	14,42

Nota: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Constatou-se também que, a partir dos 51 meses após o plantio, o residual das fontes de B não influenciaram as concentrações de B no folheto. Segundo Silva (2011), a concentração de determinados nutrientes nas folhas pode ser influenciada pela aplicação de fertilizantes minerais ou orgânicos. Neste trabalho, de fato, em momento inicial (Tabela 25), verificou-se a mudança na concentração de B no folheto, em virtude das aplicações do nutriente. Contudo, com o avanço da idade, presumisse que este efeito foi diluído pelo transporte e acúmulo do nutriente para outras regiões da planta.

Considerando a faixa adequada da concentração foliar de B elaborada por Gonçalves (2011), verificou-se que, à exceção dos 30, 33 e 54 meses após o plantio, as concentrações de B estão dentro da faixa adequada (Tabela 25 e Tabela 26).

Aos 33, 36, 42, 45 e 48 meses após o plantio verificou-se que as fontes de B aplicadas no plantio influenciaram positivamente as quantidades de B transferido ao solo pela deposição do folheto (Tabela 27). Portanto, mesmo sendo uma dose considerada baixa ( $1 \text{ kg ha}^{-1}$  de B), o seu residual ainda proporcionou maior retorno do nutriente ao solo, quando comparado à testemunha, sendo assim, importante para o ciclo biogeoquímico. Viera, Schumacher e Caldeira (2013) verificaram em povoamento de *E. urophylla*  $\times$  *E. globulus* no sul do Brasil que o B é terceiro micronutriente mais acumulado na serapilheira, porém, é o que apresenta o maior coeficiente de devolução. Tal coeficiente é definido como o processo de fragmentação da serapilheira e, conseqüentemente, a liberação do nutriente no piso florestal (SINGH; DUTTA; AGRAWAL, 2004). Deste modo, sendo o B um nutriente imóvel no floema (FAQUIN, 2005), acumulando-se em folhas velhas, é de suma importância a sua ciclagem biogeoquímica, proporcionando o seu retorno ao solo e o reaproveitamento pela cultura.

**Tabela 27** - Quantidade de boro transferido ao solo pela deposição de folheto de plantas de eucalipto aos 30, 33, 36, 39, 42, 45 e 48 meses após o plantio em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2014/16.

Tratamentos	Boro transferido no solo ( $\text{g ha}^{-1}$ ) nas idades avaliadas						
	30	33	36	39	42	45	48
<b>Plantio</b>							
Testemunha	37,63 a	16,42 b	42,43 b	32,04 a	25,21 b	42,99 b	32,84 b
Acido Bórico	43,43 a	20,76 a	46,35 ab	38,04 a	30,77 a	52,31 a	39,82 a
Borogran	46,38 a	22,13 a	50,91 a	36,62 a	30,76 a	52,85 a	40,12 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	9,37	4,31	5,62	6,64	3,91	6,09	4,64
<b>Foliar</b>							
sem	40,38 a	18,54 a	44,13 b	35,99 a	28,50 a	49,38 a	36,54 a
com	44,58 a	21,01 a	49,00 a	35,14 a	29,21 a	49,33 a	37,65 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	6,22	2,86	3,79	4,47	2,63	4,10	3,13
<b>Reaplicação</b>							
sem	-	-	41,95 b	34,15 a	27,48 b	45,97 b	37,25 a
com	-	-	51,18 a	36,98 a	30,34 a	52,73 a	37,94 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	-	-	3,79	4,47	2,63	4,10	3,13
<b>C.V. (%)</b>	13,93	13,76	11,77	18,20	13,18	12,06	12,04

Nota: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Corrêa, Schumacher e Momolli (2016), estudando a deposição de serapilheira e micronutrientes, verificaram que a concentração de B na serapilheira ao longo do ano, em plantio de *E. dunnii*, foi maior no período da primavera e verão, o que favoreceu o seu maior retorno ao solo pela ciclagem biogeoquímica. Neste trabalho, as maiores transferências de B ao solo pela deposição do folheto foram aos 36 e 45 meses após o plantio, correspondendo também ao verão e primavera, respectivamente.

Verificou-se no presente estudo que, somente aos 36 meses após o plantio, as aplicações de B via foliar proporcionaram maior concentração (Tabela 26) e transferência de B ao solo (Tabela 27), oriundo do folheto.

Aos 36, 42 e 45 meses após o plantio, verificou-se que a aplicação de B em cobertura influenciou positivamente a transferência de B ao solo (Tabela 27). Logo, presumisse que a maior concentração de B no folheto (Tabela 26), em virtude da aplicação do nutriente em cobertura, favoreceu o retorno deste ao solo pelo ciclo biogeoquímico. Zaia e Gama-Rodrigues (2004) relataram que, quanto maior a ciclagem dos nutrientes, maior será sua disponibilidade no solo, e, assim, sua absorção pelas plantas. Viera (2012) preconizou a não remoção dos resíduos florestais durante a colheita, uma vez que contribuem com a sustentabilidade ambiental, além da possível redução de fertilizantes utilizados para reposição nutricional do sítio florestal.

Em povoamento de *E. urophylla* × *E. globulus* com 5,5 anos de idade, Viera et al. (2014) averiguaram que o aporte anual médio de B proveniente da folha na serapilheira foi de 151,6 g ha<sup>-1</sup> de B, o que contribuiu com 79,4% do total de B da serapilheira. Carvalho et al. (2015) também constataram, em povoamento de *E. saligna* aos 4,5 anos de idade, a quantidade de 123,5 g ha<sup>-1</sup> de B presente na serapilheira. No presente estudo, considerando o intervalo de 36 a 48 meses após o plantio, nos tratamentos em que não houve as reaplicações de B em cobertura, o aporte médio de B transferido ao solo foi de 186,8 g ha<sup>-1</sup> de B. Entretanto, com as reaplicações de B em cobertura, houve incremento de 12 % (209,17 g ha<sup>-1</sup> de B) na quantidade de B transferido ao solo.

Aos 51, 54, 57, 60, 63 e 66 meses após o plantio, assim como se constatou para a concentração de B no folheto, não houve efeito residual das fontes de B aplicadas no sulco de plantio, bem como as aplicações de B via foliar, nas quantidades de B transferido ao solo pela deposição do folheto (Tabelas 26 e 28). Contudo, novamente, as aplicações de B em cobertura influenciaram positivamente a quantidade de B transferido ao solo, proveniente do folheto, até os 60 meses após o plantio (Tabela 28). Considerando o intervalo de 51 a 66 meses após o plantio, houve incremento de 7% (255,1 g ha<sup>-1</sup> de B) na quantidade de B transferido ao solo, em virtude das reaplicações do nutriente em cobertura.

**Tabela 28** - Quantidade de boro transferido ao solo pela deposição de folheto de plantas de aos 51, 54, 57, 60, 63 e 66 meses após o plantio em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2016/17.

Tratamentos	Boro transferido ao solo ( $\text{g ha}^{-1}$ ) nas idades avaliadas					
	51	54	57	60	63	66
<b>Plantio</b>						
Testemunha	29,52 a	21,20 a	39,05 a	37,68 a	50,94 a	54,81 a
Acido Bórico	32,13 a	22,89 a	42,80 a	40,91 a	56,28 a	60,98 a
Borogran	30,62 a	21,83 a	40,22 a	41,15 a	56,46 a	63,43 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	3,16	2,33	3,82	3,90	5,54	8,86
<b>Foliar</b>						
sem	30,39 a	21,73 a	40,69 a	40,43 a	55,02 a	61,05 a
com	31,13 a	22,22 a	40,69 a	39,40 a	54,10 a	58,42 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	2,13	1,57	2,57	2,63	3,73	5,97
<b>Reaplicação</b>						
sem	28,30 b	20,66 b	38,71 b	38,53 b	54,67 a	59,31 a
com	33,21 a	23,29 a	42,68 a	41,30 a	54,45 a	60,17 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	2,13	1,57	2,57	2,63	3,73	5,97
<b>C.V. (%)</b>	10,01	10,34	9,14	9,52	9,89	14,46

Nota: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

No presente estudo, embora não tenha sido comparado as estações do ano, verificou-se maior transferência de B ao solo durante a primavera. Corrêa, Schumacher e momolli (2016), estudando a deposição de serapilheira e micronutrientes ao longo do ano em *E. dunnii*, verificaram que a primavera e verão foram as estações que favoreceram o maior retorno de B ao solo, em virtude da ciclagem biogeoquímica. Segundo Caldeira et al. (2007), a ciclagem biogeoquímica, de forma geral, é a rota pela qual os elementos com baixa mobilidade no floema são reaproveitados pela planta, como é o caso do B.

#### 4.6 Avaliações dendrométricas do eucalipto

##### 4.6.1 Altura de árvores

O efeito residual das fontes de B aplicadas no plantio, assim como as aplicações de B via foliar, não influenciaram as mensurações de altura de árvores aos 36, 42, 48, 54, 60 e 66 meses após o plantio. Todavia, verificou-se que as reaplicações de  $1 \text{ kg ha}^{-1}$  de B em cobertura, aos 34 e 46 meses após o plantio, proporcionaram incremento em altura de plantas aos 36, 42, 60 e 66 meses após o plantio (Tabela 29).

**Tabela 29** - Valores médios de altura do eucalipto em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2014/17.

Tratamentos	Altura (m) nas idades avaliadas					
	36 meses	42 meses	48 meses	54 meses	60 meses	66 meses
<b>Plantio</b>						
Testemunha	17,53 a	19,00 a	20,20 a	20,41 a	21,40 a	21,82 a
Acido Bórico	17,85 a	19,11 a	20,09 a	20,81 a	21,80 a	22,22 a
Borogran	18,04 a	19,23 a	20,37 a	20,91 a	21,58 a	21,67 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,59	0,91	1,22	0,90	0,73	1,32
<b>Foliar</b>						
sem	17,82 a	19,26 a	20,42 a	20,73 a	21,70 a	22,09 a
com	17,79 a	18,96 a	20,02 a	20,69 a	21,48 a	21,71 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,40	0,61	0,82	0,61	0,49	0,89
<b>Reaplicação</b>						
sem	17,39 b	18,68 b	19,88 a	20,66 a	20,92 b	21,18 b
com	18,22 a	19,54 a	20,56 a	20,76 a	22,27 a	22,62 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,40	0,61	0,82	0,61	0,49	0,89
<b>C.V. (%)</b>	3,85	5,46	5,86	4,23	3,30	5,88

Nota: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Oliveira, Moraes e Buzetti (2001) verificaram num Latossolo Vermelho de textura argilosa, com teor médio de B, o efeito da adubação NPK com a presença e ausência de B em *Corymbia citriodora*. Segundo os autores, a aplicação de 2 kg ha<sup>-1</sup> de B influenciou positivamente a altura de árvores somente aos 7 anos de idade. Comparando com presente estudo, o clone I144 necessitou de doses maiores que 1 kg ha<sup>-1</sup> de B, para proporcionar incremento em altura de árvores. Há trabalhos na literatura que constataram que a não aplicação de B reduziu o crescimento em altura de árvores de *C. citriodora* (NOVELINO et al., 1982; SILVEIRA et al., 2000; MAFFEIS; SILVEIRA; BRITO, 2000). De acordo com Moraes, Moraes e Moreira (2002), plantas submetidas à deficiência de B têm como consequência a redução da síntese de pectina e lignina, tornando mais finas as paredes das células do lenho, logo, com menor crescimento da planta.

Leite, Marino e Bonine (2010) avaliaram em casa de vegetação, mudas dos clones *E. grandis* e *E. grandis* x *E. urophylla* submetidos a supressão de B. Aos 120 dias de idade houve a interrupção de fornecimento de B na solução e, após 30 dias de supressão do nutriente, os clones *E. grandis* e *E. grandis* x *E. urophylla* apresentaram taxa de crescimento em altura de 41,4% e 37,0%, respectivamente, quando comparado a não supressão do B. Contudo, no presente estudo, em solo com teor médio de B, não houve diferença entre as

fontes de B aplicadas no solo e a sua ausência no plantio nas mensurações de altura de árvores.

Em Latossolo Vermelho Amarelo com teor médio de B, Paula (2009) avaliou a altura de árvores de clones de eucalipto em função de doses de B, e constatou que as doses de B não influenciaram a altura de árvores no clone “A”. Porém, ao clone “B” proporcionou maiores incrementos em altura de plantas nas doses 4, 8 e 10 kg ha<sup>-1</sup> de B, diferindo das doses 0 e 2 kg ha<sup>-1</sup> de B. Comparando com a dose de B utilizada no sulco de plantio do presente estudo, verifica-se que esta não proporcionou efeito positivo na altura de árvores em determinado clone estudado pela autora supracitada. Nesse sentido, tendo em vista que as reaplicações de B influenciaram positivamente a altura de árvores aos 36, 42, 60 e 66 meses após o plantio, pode-se concluir que, possivelmente, o clone em estudo (I144) necessite de doses maiores do que a aplicada no plantio (1 kg ha<sup>-1</sup> de B) para que expresse o seu potencial genético de produção.

Neste mesmo cultivo, entretanto, aos 21 meses após o plantio, Celestrino (2014) constatou que as fontes de B proporcionaram maiores alturas de árvores quando comparadas aos tratamentos submetidos à omissão do elemento no sulco de plantio. Sendo assim, é possível que a dose utilizada no plantio atendeu a demanda da cultura até este período, necessitando, assim, de doses maiores para efeito à posteriori. Segundo Silva (2011), a recomendação de adubação com B na literatura precisa ser reavaliada, pois, com a inserção dos clones nos plantios comerciais, possivelmente são mais exigentes em nutrientes que os utilizados para gerar a recomendação atual.

Embora a omissão do B propicie a inibição do crescimento das plantas, pois este é constituinte da parede celular, e têm influência no crescimento meristemático (MARSCHNER, 1995; EPSTEIN; BLOOM, 2006), as respostas acerca da aplicação de B em eucalipto têm sido divergentes. Em casa de vegetação, Ramos et al. (2009) verificaram após 140 dias da aplicação de doses de B (0,0; 0,25; 0,75; 2,25; 6,25 mg kg<sup>-1</sup> de B) em *C. citriodora*, num Latossolo Vermelho com teor baixo do elemento, que não houve diferença entre doses de B nas mensurações de altura de plantas. Tirloni et al. (2011) também verificaram, em Latossolo Vermelho, que aplicações de B (0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 g de B planta<sup>-1</sup>), tanto no início do período de estiagem como no período das águas, não influenciaram a altura de árvores de *C. citriodora* até os 29 meses de idade. Em casa de vegetação, Dias (2016), estudando doses de B (0; 0,55; 1,1 e 2,75 g de B planta<sup>-1</sup>) em *E. benthamii*, num Cambissolo Húmido, constatou que não houve diferença entre as doses nas mensurações de altura de plantas aos 110 dias após o plantio.

Em Latossolo Vermelho, Pinheiro (1999) verificou o efeito de doses de B (0; 1,1; 2,2 e 4,4 g planta<sup>-1</sup>) em cobertura aos 15 meses de idade do *E. camaldulensis*. O autor constatou que a dose de 1,1 g planta<sup>-1</sup> de B foi ideal para o máximo crescimento em altura de árvores. No presente trabalho, a dose de 0,750 g planta<sup>-1</sup> de B aplicada no sulco de plantio não influenciou as mensurações de altura de árvores até os 66 meses após o plantio. Contudo, as reaplicações de B em cobertura foram benéficas para a cultura, pois resultaram no incremento em altura de árvores aos 36, 42, 60 e 66 meses após o plantio, uma vez que este nutriente está associado ao crescimento meristemático.

De acordo com a recomendação elaborada por Silveira e Higashi (2002), para o teor médio de B, como no solo em estudo, seria necessária a aplicação de 2 kg ha<sup>-1</sup> de B, sendo esta parcelada em três (0,5; 0,5 e 1,0 kg ha<sup>-1</sup> de B), se findando a última até os 24 meses após plantio. Todavia, mesmo com reaplicações de B tardias (34 e 46 meses após o plantio), e pela possível redução de respostas aos fertilizantes, em função do início do ciclo biogeoquímico, verificou-se que tais aplicações de B influenciaram positivamente a altura de árvores.

Segundo Gonçalves (2011), dentre os micronutrientes, o B é o elemento mais limitante em plantios de eucalipto. No mesmo cultivo do presente estudo, Celestrino (2014) constatou aos 24 meses após o plantio que houve correlação positiva ( $r = 0,97^{**}$ ) entre o teor de B no solo e altura de plantas, assim como também correlação positiva ( $r = 0,77^{**}$ ) entre altura de plantas e concentração foliar de B. Silva (2007) também verificou correlação positiva em *E. grandis*, entre altura de plantas e concentração foliar de B aos 5, 11, 15 e 22 meses de idade. Isso demonstra que o adequado teor de B no solo e, ou, melhor estado nutricional da cultura proporciona incremento em altura de árvores.

Embora existam trabalhos que demonstraram o efeito benéfico da aplicação de B em plantios florestais, Barros e Novais (1996) constataram redução de altura de árvores em *C. citriodora*, assim como verificado por Coutinho, Bento e Vale (1995) em doses acima de 4,4 kg ha<sup>-1</sup> de B *E. globulus* e Bouchardet (2002) com doses acima de 4 kg ha<sup>-1</sup> de B, em dois clones de eucalipto. Sendo o mecanismo de contato íon-raiz predominantemente por fluxo de massa, a adição de B acima da necessidade da planta promove a redução do seu crescimento em virtude da toxidez pelo elemento (RAMOS et al., 2009; MATTIELLO et al., 2009). No presente estudo, não houve sintomas de toxidez de B, uma vez que a dose de B aplicada é considerada baixa para solos de textura arenosa com baixo teor de M.O.

Em solo com teor médio de B, Paula (2009) estudou fontes (ácido bórico e ulexita) de B, aplicadas em filete contínuo na projeção da copa, na dose de 4 kg ha<sup>-1</sup> de B, e concluiu que não houve diferença entre as fontes de B para as mensurações de altura de árvores. No

presente estudo também não ficou caracterizado diferença entre as fontes de B utilizadas no sulco de plantio.

Nota-se que o efeito residual das aplicações de B via foliar também não influenciaram sobre a altura de árvores até os 66 meses após o plantio. No mesmo cultivo, contudo, aos 21 meses após o plantio, Celestrino (2014) verificou que duas aplicações foliares, na dose de 0,5% de ácido bórico em calda de 250 L ha<sup>-1</sup> cada, foram suficientes para o incremento em altura de árvores quando comparado aos tratamentos que não receberam aplicações de B via solo. Embora ainda discutível a aplicação de B via foliar, tendo em vista a imobilidade do elemento no floema (FAQUIN, 2005), José et al. (2009) preconizaram a aplicação de B via foliar em épocas secas, atendendo às necessidades de B na cultura, pois a absorção pelas raízes neste período ocorre com menor intensidade, visto o mecanismo de contato íon-raiz (fluxo de massa) que é reduzido pela falta de água.

#### 4.6.2 Diâmetro à altura do peito (DAP)

Assim como nas avaliações de altura das árvores, o residual das fontes de B aplicadas no plantio, bem como as aplicações de B via foliar, não influenciaram o DAP até os 66 meses após o plantio. Contudo, as reaplicações de B em cobertura, aos 34 e 46 meses após o plantio, na dose de 1 kg ha<sup>-1</sup> de B cada, influenciaram positivamente o DAP aos 42, 48, 54, 60 e 66 meses após o plantio (Tabela 30).

**Tabela 30** - Valores médios de diâmetro a altura do peito (DAP) do eucalipto em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2014/17.

Tratamentos	DAP (cm) nas idades avaliadas					
	36 meses	42 meses	48 meses	54 meses	60 meses	66 meses
<b>Plantio</b>						
Testemunha	12,03 a	13,10 a	13,92 a	14,48 a	15,32 a	15,83 a
Acido Bórico	12,38 a	13,00 a	13,61 a	14,68 a	15,38 a	15,77 a
Borogran	12,44 a	13,16 a	13,92 a	15,00 a	15,32 a	15,41 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,51	0,90	1,20	0,52	0,41	0,73
<b>Foliar</b>						
sem	12,42 a	13,34 a	14,14 a	14,84 a	15,40 a	15,64 a
com	12,15 a	12,83 a	13,49 a	14,60 a	15,31 a	15,70 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,34	0,61	0,81	0,35	0,28	0,49
<b>Reaplicação</b>						
sem	12,13 a	12,70 b	13,38 b	14,48 b	14,85 b	15,23 b
com	12,44 a	13,47 a	14,24 a	14,97 a	15,85 a	16,12 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,34	0,61	0,81	0,35	0,28	0,49
<b>C.V. (%)</b>	4,78	7,92	8,45	3,47	2,64	4,55

Nota: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração do próprio autor.



No mesmo cultivo, Celestrino (2014) constatou até os 24 meses após o plantio que as fontes de B aplicadas no sulco de plantio não influenciaram as mensurações do DAP, quando comparadas aos tratamentos que não receberam a aplicação de B via solo. Até os 66 meses após o plantio, também não houve diferença nesta avaliação até os 66 meses após o plantio. De encontro aos resultados obtidos, Moreira, Moraes e Castro (2006), estudando doses de B em mudas de seringueira em Latossolo Vermelho, verificaram que a aplicação de fonte menos solúvel (ulexita) foi mais eficiente para o incremento em diâmetro de caule em seringueira, com ajuste linear crescente até a dose de  $16 \text{ kg ha}^{-1}$  de B, enquanto que o maior diâmetro de caule verificado, com o emprego de ácido bórico, foi de  $6,5 \text{ kg ha}^{-1}$  de B. Segundo os autores, o ácido bórico presente no solo em sua forma molecular e não iônica, possivelmente, desloca-se em profundidade e possibilita o maior contato com o sistema radicular, aumentando os riscos de toxidez, dependendo da dose utilizada. No presente estudo, não houve sintomas de excesso de B utilizando a fonte mais solúvel, pois se utilizou doses consideradas baixas para a cultura instalada em solos arenosos com baixo teor de M.O.

Corroborando com o presente estudo, Paula (2009) verificou em solo de textura argilosa, que as fontes de B na dose de  $4 \text{ kg ha}^{-1}$  de B não influenciaram as mensurações do DAP de clones de eucalipto até os 20 meses de idade. A hipótese inicial do presente estudo consistia em que, possivelmente, a aplicação de fertilizantes menos solúveis em água disponibilizaria o nutriente mais lentamente na solução do solo, o que, por conseguinte, favoreceria, ao longo do tempo, a maior concentração deste na fase líquida, resultando em efeito benéfico para a cultura. Todavia, até os 66 meses após o plantio, não se notou diferença entre as fontes de B utilizadas no plantio, uma vez que ambas se comportaram de modo semelhante em relação aos atributos avaliados.

Barretto et al. (2007) constataram acréscimo linear no diâmetro do caule a 60 cm de altura do substrato até os 240 dias após o plantio de mudas de *E. grandis* x *E. urophylla* em solução nutritiva, empregando doses de 0,00 a  $0,54 \text{ mg L}^{-1}$  de B. Admitindo densidade igual a  $1 \text{ kg dm}^{-3}$ , e considerando a camada de 0,00 a 0,20 m, a maior dose utilizada pelos autores supracitados é equivalente a  $1,08 \text{ kg ha}^{-1}$  de B. Portanto, associado com a equação linear crescente em função das doses, sugere-se, possivelmente, que o híbrido em questão necessite de doses maiores do que a utilizada naquele trabalho.

Conforme mencionado anteriormente, o efeito residual da aplicação de  $1 \text{ kg ha}^{-1}$  de B no sulco de plantio não foi suficiente para promover incremento no DAP até os 66 meses de idade. Contudo, as reaplicações de B em cobertura influenciaram positivamente o DAP aos

42, 48, 54, 60 e 66 meses após o plantio, sendo, portanto, indicativo de que o clone em estudo seja mais exigente em termos de adubação boratada, e assim necessite de doses maiores que a aplicada no plantio para que expresse o potencial de produção. Segundo Gonçalves e Valeri (2001), têm-se verificado respostas positivas com aplicações de B em eucaliptos inseridos em solos de textura arenosa, principalmente em áreas com déficit hídrico.

De acordo com Barretto et al. (2007), em solos de baixa fertilidade natural, a adubação boratada é realizada juntamente com os macronutrientes primários (N, P e K), sendo, então, parcelada até os 24 meses de idade da cultura. No presente trabalho, mesmo com as reaplicações de B tardias, ainda foram benéficas para a cultura, pois proporcionaram maior DAP.

Silveira, Moreira e Higashi (2004), estudando o crescimento de mudas de *E. grandis* e *E. saligna* sob doses de boro cultivadas em condições de viveiro, verificaram que a partir da dose de  $1,30 \text{ mg L}^{-1}$  de B houve redução do diâmetro nas espécies cultivadas. Considerando a camada de 0,00 a 0,20 m, e densidade do solo igual a  $1 \text{ kg dm}^{-3}$ , a dose é equivalente a  $2,6 \text{ kg ha}^{-1}$  de B. Contudo, em condições de campo, há relatos de doses superiores, proporcionando incremento em DAP em eucalipto (PAULA, 2009) e seringueira (MOREIRA; MORAES; CASTRO, 2006). Portanto, tal variação é possível, pois a eficiência na absorção do B está associada com a presença de óxidos, M.O., minerais de argila, pH e principalmente água no solo (LOUÉ, 1993).

Em Latossolo Vermelho Amarelo de textura argilosa com teor médio de B, Paula (2009), estudando doses de B em clones de eucalipto, verificou que doses de 2 e  $4 \text{ kg ha}^{-1}$  influenciaram positivamente o DAP do clone "A", diferindo dos tratamentos com doses mais elevadas (8 e  $10 \text{ kg ha}^{-1}$  de B). A autora verificou que para o clone "B", o incremento em DAP foi proporcionado pela aplicação de  $4 \text{ kg ha}^{-1}$  quando comparado à testemunha. Assim, recomendações como as de Gonçalves et al. (1997), precisam ser reavaliadas com a inserção de materiais genéticos mais produtivos, pois, possivelmente, tais materiais são mais exigentes que os utilizados à época para gerar a recomendação atual.

Oliveira, Moraes e Buzetti (2001) estudaram o efeito da adubação NPK com a presença e ausência de B em *C. citriodora* instalado em Latossolo Vermelho de textura argilosa com teor médio de B, e verificaram que a aplicação de  $2 \text{ kg ha}^{-1}$  de B proporcionou incremento no DAP dos 5 aos 8 anos de idade das árvores. Também em Latossolo Vermelho, Tirloni et al. (2011) verificaram que doses de B (0; 0,2; 0,4; 0,6 e  $0,8 \text{ g planta}^{-1}$  de B), aplicadas em cobertura no início do período de estiagem (cultura há 13 meses no campo), não influenciaram o DAP de *C. citriodora* até os 29 meses de idade. Contudo, quando tais doses

foram aplicadas no início do período chuvoso (cultura há 9 meses no campo), os autores verificaram de redução no DAP nas doses 0 e 0,8 g planta<sup>-1</sup> de B. Logo, atribuíram o efeito de toxidez para a redução no DAP na dose de 0,8 g planta<sup>-1</sup> de B. No presente estudo, duas reaplicações de B, na dose de 0,750 g planta<sup>-1</sup> cada, proporcionaram incremento no DAP, aos 42, 48, 54, 60 e 66 meses após o plantio.

Em solo com teor médio de B, Paula (2009) estudou fontes (ácido bórico e ulexita) de B aplicadas em filete contínuo na projeção da copa, na dose de 4 kg ha<sup>-1</sup> de B, e concluiu que não houve diferença entre as fontes de B para as mensurações no DAP. A autora supracitada também não constatou diferença no DAP, em função das formas de aplicação de B: filete, lanço e filete + pulverização foliar.

#### 4.6.3 Volume de madeira com casca

O residual das fontes de B aplicadas no sulco de plantio, bem como as aplicações via foliar, não influenciaram a estimativa do volume de madeira com casca até os 66 meses após o plantio. No entanto, as reaplicações de B em cobertura, aos 34 e 46 meses após o plantio, foram suficientes para que houvesse incremento médio de 14, 26, 29, 16, 51 e 50 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de madeira com casca, respectivamente, aos 36, 42, 48, 54, 60 e 66 meses após o plantio (Tabela 31).

**Tabela 31** - Valores de volume de madeira com casca de eucalipto em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2014/17.

Tratamentos	Volume (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) nas idades avaliadas					
	36 meses	42 meses	48 meses	54 meses	60 meses	66 meses
<b>Plantio</b>						
Testemunha	133,4 a	172,7 a	207,5 a	224,6 a	264,4 a	288,6 a
Acido Bórico	143,8 a	171,7 a	198,2 a	235,5 a	270,7 a	290,2 a
Borogran	147,2 a	177,5 a	210,7 a	247,4 a	268,2 a	271,0 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	15,5	28,9	42,8	23,2	18,1	37,4
<b>Foliar</b>						
sem	144,9 a	182,2 a	217,1 a	239,8 a	270,6 a	285,1 a
com	138,1 a	165,7 a	193,8 a	231,7 a	264,9 a	281,5 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	10,5	19,5	28,8	15,6	12,2	21,9
<b>Reaplicação</b>						
sem	134,6 b	160,8 b	190,8 b	227,4 b	242,1 b	258,2 b
com	148,4 a	187,1 a	220,1 a	244,1 a	293,4 a	308,4 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	10,5	19,5	28,8	15,6	12,2	21,9
<b>C.V. (%)</b>	12,62	19,12	20,32	9,61	6,59	11,20

Nota: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Num Latossolo Vermelho Amarelo de textura argilosa, com teor médio de B, Paula (2009) constatou a não diferença entre fontes de B, aplicadas na dose de 4 kg ha<sup>-1</sup> de B, nas mensurações de volume de madeira no clone “A”. Contudo, a autora verificou que o clone “B” apresentou maior incremento volumétrico nos tratamentos submetidos à aplicação de ulexita, quando comparado ao ácido bórico. Neste presente estudo, não houve diferença entre as fontes de B aplicadas no sulco de plantio, uma vez que ambas proporcionaram teores de B semelhantes no solo (Tabela 8, 9 e 10). Entretanto, Mortvedt (1994) comentou que, a alta solubilidade em água de alguns fertilizantes boratados, pode favorecer a mobilidade do nutriente ao longo do perfil e, possivelmente, a lixiviação deste, principalmente em solos arenosos, como no solo em estudo.

No presente estudo, a hipótese inicial seria que, possivelmente, há maior efeito residual de B no solo advindo de fertilizantes menos solúveis, e assim, associado ao longo ciclo da cultura, promoveria efeito benéfico no crescimento das árvores. Entretanto, até os 66 meses após o plantio, não houve diferença entre fontes de B aplicadas no sulco de plantio, uma vez que ambas proporcionaram estimativas de volume de madeira com casca semelhantes, mesmo em solo de textura arenosa, cujas perdas de nutrientes são maiores pelo processo de lixiviação. Corroborando com esses resultados, no mesmo cultivo, Celestrino et al. (2015) também não verificaram diferença entre fontes de B até os 24 meses após o plantio. Provavelmente, a dose de 1 kg ha<sup>-1</sup> de B, independente da fonte de B, não foi suficiente para o incremento no volume de madeira com casca, quando comparado aos tratamentos que não receberam esta aplicação. Portanto, presume-se que o teor médio de B no solo atendeu a necessidade da cultura ao longo desses 24 meses após o plantio; ou então, a cultura necessita de doses superiores de B para que expresse o seu potencial de produção.

Bouchardet (2002), estudando doses de B (0; 0,5; 1; 2; 4 e 8 kg ha<sup>-1</sup> de B) em dois clones (A1 e A2), constatou que a dose de 1 kg ha<sup>-1</sup> de B, sendo a mesma do presente estudo, foi suficiente para atender as exigências dos clones até os 24 meses de idade. Nesse sentido, possivelmente, o clone em estudo (I144) necessita de doses maiores que a aplicada no plantio (1 kg ha<sup>-1</sup> de B), para que expresse o seu potencial genético de produção ao longo do tempo. Fato este verificado com as reaplicações de B em cobertura, proporcionando incremento na produtividade de madeira até os 66 meses após o plantio.

Verifica-se em solos de baixa fertilidade natural que a adubação boratada é realizada em conjunto aos macronutrientes (N, P e K), sendo parcelada durante a implantação da cultura até os 24 meses de idade (BARRETTO et al. 2007). Entretanto, resultados positivos têm ratificado a necessidade da aplicação de B para ganhos em volume de madeira e

crescimento em diâmetro de caule (BARROS et al., 1992; PINHEIRO, 1999; OLIVEIRA; MORAES; BUZETTI, 2001). No presente estudo, mesmo com reaplicações de B consideradas tardias, aos 34 e 46 meses após o plantio, e com o possível efeito do ciclo biogeoquímico, reduzindo as respostas de fertilizantes, houve efeito benéfico em altura de árvores aos 36, 42, 60 e 66 meses após o plantio e também no DAP aos 42, 48, 54, 60 e 66 meses após o plantio, favorecendo o incremento volumétrico de madeira com casca.

Em Latossolo Vermelho Amarelo de textura argilosa com teor médio de B, Paula (2009) constatou ganhos volumétricos de madeira até a dose de 7 kg ha<sup>-1</sup> de B para o clone “B” e 5,5 kg ha<sup>-1</sup> de B para o clone “A”. No presente estudo, utilizou-se a dose de 1 kg ha<sup>-1</sup> de B no sulco de plantio, o que para alguns autores (SILVEIRA; HIGASHI, 2002) é uma dose considerada baixa, principalmente em solos arenosos que apresentam baixo teor de M.O. Nesse sentido, Celestrino (2014) comenta que é interessante realizar estudos de calibração de B, sendo específico para o material genético utilizado e condições edafoclimáticas locais. De acordo com Silva (2011), a recomendação de adubação da literatura precisa ser reavaliada, principalmente pela inserção de materiais genéticos mais produtivos, com destaque para os clones, que possivelmente os tornam mais exigentes que os utilizados para gerar a recomendação atual. Portanto, é possível que a dose utilizada no sulco de plantio esteja aquém da exigência da cultura, não sendo suficiente para influenciar positivamente a produtividade de madeira até os 66 meses após o plantio.

Oliveira, Moraes e Buzetti (2001), estudando o efeito da adubação NPK com e sem B em *C. citriodora*, num Latossolo Vermelho de textura argilosa com teor médio do nutriente, verificaram que a aplicação de 2 kg ha<sup>-1</sup> de B resultou em incremento volumétrico de madeira dos 5 aos 8 anos de idade. Porém, aos 13 anos de idade, tal efeito foi diluído, comprovando que, embora o B tenha proporcionado crescimento maior nos primeiros anos, houve recuperação das árvores que não receberam aplicação desse micronutriente. Sabe-se que a omissão do nutriente propicia a inibição do crescimento das plantas, pois este é constituinte da parede celular, além de influenciar no crescimento meristemático (MARSCHNER, 1995; EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Em região com predomínio de Latossolo Vermelho Amarelo, Pinheiro (1999) constatou que doses de B aplicadas em cobertura, aos 15 meses de idade do *E. camaldulensis*, proporcionou ajuste linear crescente no volume de madeira até a dose de 4,4 g planta<sup>-1</sup> de B. Ferreira (1992), estudando o efeito de doses de B (0; 0,25; 0,75; 2,25 e 6,25 mg dm<sup>-3</sup>) em *C. citriodora* num Latossolo Vermelho submetido a dois níveis de umidade (- 0,33 e - 0,10 atm), constatou que, independente da umidade do solo, houve ajuste quadrático na

produção de matéria seca da parte aérea com o incremento das doses de B, obtendo máxima produção na dose de  $2,21 \text{ mg dm}^{-3}$  de B. Considerando a densidade igual a  $1 \text{ kg dm}^{-3}$  na camada de 0,0 a 0,20 m, a dose que propiciou maior produção de matéria seca na parte aérea foi de  $4,42 \text{ kg ha}^{-1}$  de B, sendo esta o quádruplo da dose de B aplicada no sulco de plantio no presente trabalho.

No Cerrado de Minas Gerais, Barros et al. (1992) verificaram que doses de 1 a  $1,5 \text{ g planta}^{-1}$  de B proporcionaram incremento de até 32% no volume de madeira em *C. citriodora* e *E. camaldulensis* quando comparado com a omissão deste elemento. Fonseca, Maluf e Oliveira (1990), estudando o efeito da aplicação de B na produtividade de *E. camaldulensis* aos 30 meses de idade, em Latossolo Vermelho Amarelo de textura média, constataram incremento de madeira de 25 e 32%, nas doses de 1 e  $2 \text{ g planta}^{-1}$  de B, respectivamente, quando comparados à testemunha. No presente estudo, duas aplicações de B, na dose de  $0,750 \text{ g planta}^{-1}$  de B, também proporcionaram incremento volumétrico de madeira no clone I144 em região de Cerrado com baixo teor de M.O.

#### 4.7 Qualidade do fuste

Verificou-se aos 30, 36, 42 e 48 meses após o plantio que o efeito residual das fontes de B aplicadas no sulco de plantio foi suficiente para reduzir a porcentagem de árvores bifurcadas na ordem 13% a 14% e 8% a 10% em aplicações de ácido bórico e borogran, respectivamente, quando comparadas à testemunha. As aplicações foliares de B também reduziram em 7% a bifurcação das árvores até os 48 meses após o plantio (Tabela 32).

Em Latossolo Vermelho com teor médio de B, Paula (2009) também verificou redução na intensidade dos sintomas de seca de ponteiro em clones de eucaliptos, utilizando doses de 8 e  $10 \text{ kg ha}^{-1}$  de B. Entretanto, quando a cultura foi submetida ao ritmo de crescimento mais lento (ausência de adubação nitrogenada e potássica em cobertura), a dose de  $2 \text{ kg ha}^{-1}$  foi suficiente para reduzir a intensidade dos sintomas de deficiência do nutriente no clone "B". Neste trabalho, utilizando doses maiores de fertilizantes nitrogenados e potássicos, portanto, com ritmo de crescimento mais rápido, constatou-se que a dose de  $1 \text{ kg ha}^{-1}$  de B, independente da fonte utilizada, ainda proporciona sintomas de deficiência do nutriente. Contudo, esta dose, mesmo sendo considerada baixa, foi suficiente para reduzir a bifurcação das árvores, até os 48 meses após o plantio, quando comparado à testemunha. Assim, presume-se que a cultura se beneficiaria com aplicações de doses maiores que a aplicada no

plântio, no momento em que estaria mais susceptível aos sintomas de deficiência, sendo essa nos primeiros dois anos de idade.

**Tabela 32** - Porcentagem de árvores bifurcadas do eucalipto em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2014/16.

Tratamentos	% de árvores bifurcadas nas idades avaliadas			
	30 meses	36 meses	42 meses	48 meses
<b>Plantio</b>				
Testemunha	25,04 a	28,67 a	29,40 a	31,65 a
Acido Bórico	11,46 b	15,62 b	15,85 b	16,85 b
Borogran	16,67 b	20,32 b	20,61 b	21,61 b
<b>D.M.S. (5%)</b>	6,44	5,72	5,82	6,01
<b>Foliar</b>				
sem	21,00 a	25,02 a	25,39 a	26,88 a
com	14,44 b	18,05 b	18,52 b	19,84 b
<b>D.M.S. (5%)</b>	4,77	3,87	3,94	4,02
<b>Reaplicação</b>				
sem	-	22,94 a	23,36 a	24,86 a
com	-	20,14 a	20,55 a	21,88 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	-	3,87	3,94	4,02
<b>C.V. (%)</b>	30,93	30,60	30,50	28,70

Nota: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

No mesmo cultivo do presente estudo, Celestrino et al. (2015) constataram aos 24 meses após o plantio que a aplicação de 1 kg ha<sup>-1</sup> de B no sulco de plantio foi suficiente para reduzir a porcentagem de árvores bifurcadas na ordem de 12% e 14% em função das aplicações de ácido bórico e borogran, respectivamente, quando comparada à ausência de aplicação do nutriente. Os autores verificaram correlação negativa ( $r = - 0,70^*$ ) entre o teor de B na camada de 0 a 20 cm de profundidade do solo e a porcentagem de bifurcação do clone I144, assim como correlação negativa ( $r = - 0,85^{**}$ ) entre a concentração foliar de B e a porcentagem de bifurcação das árvores. Isso demonstra que o adequado teor de B no solo e/ou melhor estado nutricional da cultura propicia a redução da severidade dos sintomas de deficiência do nutriente. Neste trabalho, a dose de 0,750 g planta<sup>-1</sup> de B ainda proporcionou sintomas de deficiência de B na cultura, corroborando com Silveira (1999), cujo autor constatou que somente a aplicação de 1,5 g planta<sup>-1</sup> de B foi suficiente para reduzir tal deficiência em clones de eucalipto aos nove meses de idade.

Maffei, Silveira e Brito (2000), estudando *C. citriodora* em solução nutritiva com ausência de B, verificaram a morte da gema apical com posteriores brotações das gemas axilares. Mattiello et al. (2009) também constataram que a omissão de B proporcionou tais

sintomas de deficiência, principalmente em plantas submetidas à déficits hídricos. No presente trabalho, mesmo com teor inicial médio de B no solo, sintomas de deficiência ficaram evidentes nos tratamentos que não receberam aplicação de B no plantio. Em região com longo período de déficit hídrico durante o ano, Sgarbi et al. (1999) constataram em clone de *E. grandis* x *E. urophylla* redução de 35% na incidência de seca do ponteiro em solos arenosos e 45% em solos argilosos, com aplicação de 2,2 kg ha<sup>-1</sup> de B.

Sintomas de deficiência do nutriente ocorrem, principalmente no primeiro ano de crescimento da cultura, devido ao menor volume de solo explorado e menor ciclagem biogeoquímica (SILVEIRA et al., 2001; GONÇALVES et al., 2015). Portanto, em solos com baixo teor de M.O., sendo esta a principal fonte de B em solos tropicais, torna-se necessário o adequado suprimento de B às plantas. Segundo Paula (2009), doses de até 10 kg ha<sup>-1</sup> de B contribuíram para a redução dos sintomas de deficiência, entretanto, Mattiello et al. (2009) em casa de vegetação, constataram sintomas de toxidez de B nas doses 3 e 5 mg dm<sup>-3</sup> de B em potencial hídrico de - 10kPa. Considerando densidade 1 kg dm<sup>-3</sup>, na camada de 0,0 a 0,20 m, as doses utilizadas seriam de 6 e 10 kg ha<sup>-1</sup> de B. Neste trabalho, a dose de B máxima utilizada foi 3, 425 kg ha<sup>-1</sup> de B, o que não resultou em sintomas de toxidez do nutriente.

Estudando povoamentos de clones, Alves (2011) verificou que há variação na suscetibilidade dos sintomas de deficiência de B. Utilizando 20 g planta<sup>-1</sup> de borogran (10% B), constatou-se que, aos 13 meses de idade, os híbridos de *E. camaldulensis* foram mais susceptíveis aos sintomas de seca do ponteiro e o E2 (*E. urophylla* x *E. grandis*) mostrou-se mais resistente. Andrade et al. (1995) também verificaram a maior susceptibilidade à seca do ponteiro em híbridos de *E. camaldulensis*. Neste trabalho, utilizando o clone I144, híbrido espontâneo de *E. urophylla*, verificou-se que 1 kg ha<sup>-1</sup> de B, reduziu os sintomas de deficiência, mas, presumisse que doses maiores contribuiriam para a redução dos sintomas.

Paula (2009), estudando fontes de B (ácido bórico e ulexita), verificou que o clone “A” submetido à aplicação de ulexita apresentou maior intensidade dos sintomas de seca do ponteiro quando comparado à aplicação de ácido bórico. Sendo assim, segundo a autora, o ácido bórico foi mais eficiente na prevenção do aparecimento destes sintomas, em virtude de sua maior solubilidade em água, atendendo a exigência da cultura no período chuvoso e de intenso crescimento vegetativo. No presente estudo, não ficou caracterizada diferença entre as fontes de B quanto à severidade dos sintomas, o que corrobora com os resultados de Celestrino et al. (2015) no mesmo cultivo, cujos autores constataram que as fontes de B



aplicadas no sulco de plantio garantiram, de modo similar, a redução dos sintomas de deficiência de B no clone I144 aos 24 meses de idade.

As aplicações de B via foliar também proporcionaram redução na bifurcação das árvores até os 48 meses após o plantio. No mesmo cultivo, Celestrino et al. (2015) verificaram interação entre aplicação via solo e foliar. Segundo os autores, com a omissão de B no plantio, duas aplicações foliares, na dose de 0,5% de ácido bórico na calda com volume de 250 L ha<sup>-1</sup> cada, foram suficientes para redução em 35% de árvores com sintomas de deficiência de B quando comparado à testemunha. Os autores também verificaram que na ausência de aplicações foliares de B, as fontes de B aplicadas no plantio também reduziram as árvores bifurcadas. Assim, durante a fase inicial da cultura, independente do modo de aplicação, é necessário suprimento adequado do elemento para redução da deficiência de B.

Paula (2009), estudando modos de aplicação de B no eucalipto, constatou que o único capaz de prevenir a intensidade dos sintomas de seca do ponteiro, durante o período de déficit hídrico, foi a combinação de aplicação via solo + via foliar. A aplicação à lanço, segundo a autora, também é mais eficiente na prevenção dos sintomas de deficiência de B quando comparado à aplicação do fertilizante em filete contínuo. José et al. (2009) relataram que aplicação foliar de B em eucalipto pode ser uma alternativa para recuperação rápida de plantas com sintomas de deficiência de B.

Embora a reaplicação de B na dose de 1 kg ha<sup>-1</sup> de B em cobertura se mostrou benéfica para a produtividade do eucalipto, não houve diferença na mensuração da porcentagem de árvores bifurcadas até os 48 meses após o plantio, independente da reaplicação ou não do nutriente. Nesse sentido, sintomas de deficiência de B ocorrem, principalmente no primeiro ano de crescimento da cultura, devido ao menor volume de solo explorado e menor ciclagem biogeoquímica (GONÇALVES et al., 2015). Logo, aplicações de B após o fechamento da copa não resultaram em redução dos sintomas de deficiência do nutriente.

#### **4.8 Densidade básica da madeira**

Verificou-se aos 66 meses após o plantio que o efeito residual das fontes de B aplicadas no sulco de plantio, bem como as aplicações de B via foliar e as reaplicações do nutriente em cobertura, não influenciaram a densidade básica de madeira do clone I144 (Tabela 33), embora a deficiência deste nutriente altere a composição química e estrutural da

parede celular, com inibição da síntese de lignina, assim como mudanças fisiológicas e morfológicas entre a parede celular e membrana plasmática (BROWN; HU, 1996).

**Tabela 33** - Densidade básica de madeira do eucalipto aos 66 meses após o plantio em função dos tratamentos com boro. Três Lagoas/MS, 2017.

Tratamentos	Densidade básica de madeira
	g cm <sup>-3</sup>
<b>Plantio</b>	
Testemunha	0,46 a
Ácido bórico	0,50 a
Borogran	0,46 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,58
<b>Foliar</b>	
Sem	0,45 a
Com	0,49 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,04
<b>Reaplicação</b>	
Sem	0,46 a
Com	0,48 a
<b>D.M.S. (5%)</b>	0,04
<b>C.V. (%)</b>	12,03

Nota: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

De acordo com Padula (2013), a densidade básica da madeira é uma das principais propriedades físicas da madeira que se correlacionam com as propriedades industriais, sendo utilizada rotineiramente, em virtude da facilidade de determinação (BATISTA; KLITZKE; SANTOS, 2010).

Shimoyama e Barrichelo (1989) relataram que o manejo silvicultural, com intuito de acelerar o crescimento de árvores, propicia a formação de lenho com parede celular menos espessa, uma vez que o processo de divisão celular é acentuado, resultando em menor densidade de madeira. Nesse sentido, tendo em vista que o B atua no crescimento meristemático e na formação da parede celular, mais especificamente na síntese de pectina, lignina e celulose (MARSCHNER, 1995), era possível que este nutriente alterasse a propriedade física da madeira, entretanto, neste estudo, não ficou caracterizada diferença na densidade básica de madeira em função dos tratamentos submetidos às aplicações de B, mesmo este influenciando o crescimento das árvores (Tabela 31). Corroborando com o presente trabalho, Bouchardet (2002) avaliou o crescimento, características físicas e anatômicas da madeira de dois clones (A1 e A2) de *E. grandis*, e verificou que doses de B (0; 0,5; 1; 2; 4 e 8 kg ha<sup>-1</sup> de B) também não interferiram na densidade básica de madeira.

Segundo Sette Junior et al. (2012) e Kauter, Lewandowski e Claupein (2003), são escassas as informações sobre o efeito da adubação nas propriedades e qualidade de madeira, principalmente quanto à ação isolada dos nutrientes. Há relatos na literatura que alguns nutrientes influenciaram a densidade básica da madeira. Sgarbi, Silveira e Brito (2000) constataram que a carência de S em solução nutritiva proporcionou menor densidade básica de madeira quando comparada ao tratamento completo. Baloni (1984) verificou que aplicações de calcário e K reduziram a densidade básica de madeira em *Pinus caribaeae*. Segundo o autor, a redução na densidade, em virtude da aplicação de calcário, deve-se ao incremento no ritmo de crescimento da cultura.

Ferreira e Kageyama (1978) constataram que as árvores mais vigorosas de populações híbridas de *E. grandis* e *E. saligna* apresentaram maior densidade básica da madeira quando comparado às árvores menos vigorosas. Neste contexto, embora as aplicações de B em cobertura, no presente estudo, influenciaram positivamente a produtividade de madeira, não houve diferença quanto à densidade básica de madeira. Estudando clones comerciais de eucalipto para o uso bioenergético de madeira, Protásio et al. (2014) verificaram que o clone I144 proporcionou maior produtividade de madeira quando comparado ao clone I220. Todavia, a densidade básica de madeira do clone mais produtivo foi 14% inferior ao clone menos produtivo. Assim, é possível que o aumento em altura de árvores, reduz o crescimento cambial e o acúmulo de celulose e lignina, sendo constituintes da parede celular. Nesse sentido, Trugilho et al. (2001) atentaram que a qualidade da madeira seja incorporada em estudos para a seleção de clones de eucalipto com a finalidade bioenergética.

Segundo Sette Junior et al. (2012), a densidade básica de madeira aumenta com a idade das árvores, em virtude do espessamento da parede celular (VITAL, 1984). Contudo, há resultados conflitantes, pois, Protásio et al. (2014) estudando clones comerciais, constataram redução de 5% na densidade básica de madeira com o avanço da idade do povoamento. Deste modo, segundo os autores, tal situação é indesejável para a produção de bioenergia, uma vez que a redução na densidade de madeira proporciona menor massa de carbono presente no fuste.

Verificou-se neste estudo, aos 5,5 anos, que a densidade básica de madeira não ultrapassou  $500 \text{ kg m}^{-3}$ , o que corrobora com Gava e Gonçalves (2008) e Costa (2006), em povoamentos de eucalipto entre seis e sete anos de idade, com valores de  $440 \text{ kg m}^{-3}$  e  $472 \text{ kg m}^{-3}$ , respectivamente. Contudo, Batista, Klitzke e Santos (2010) constataram em plantios clonais, aos 11 anos de idade, densidade básica de madeira de  $560 \text{ kg m}^{-3}$  em *E. dunnii*, sugerindo que a idade, possivelmente, influencia tal característica. Assim, em geral, tem-se

verificado que as propriedades da madeira está associada às condições de crescimento, idade das árvores, bem como suas características genéticas (COOKE; MARTIN; DAVIS, 2005; MELLEROWICZ; SUNDBERG, 2008).

## 5 CONCLUSÕES

Para a aplicação de  $1 \text{ kg ha}^{-1}$  de boro no plantio de eucalipto (clone I144), há a necessidade da reaplicação do nutriente em cobertura, influenciando positivamente o seu teor no solo, estado nutricional da cultura, produtividade de madeira, transferência de boro ao solo e concentração folheda. As reaplicações de boro, aos 34 e 46 meses após o plantio, também promoveram o maior acúmulo do nutriente no tronco de madeira, reduzindo, assim, a eficiência de uso do boro na produção de madeira.

Embora com maior residual do boro no solo em virtude da aplicação do borogran, de menor solubilidade, o ácido bórico teve efeito semelhante para a produtividade de madeira, concentração foliar, qualidade do fuste e transferência de B ao solo.

Cabe destacar que, mesmo sendo uma dose considerada baixa,  $1 \text{ kg ha}^{-1}$  de B, bem como as aplicações foliares de boro, aos 4 e 10 meses após o plantio, reduziram a porcentagem de bifurcação das árvores de eucalipto I144.

A densidade básica da madeira e o acúmulo de boro nas frações galhos e folhas não foram influenciados pelo residual das fontes de boro, assim como as aplicações foliares e reaplicação do nutriente em cobertura, no eucalipto abatido aos 66 meses após o plantio.

## REFERÊNCIAS

- ABRAF. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF 2011**: ano base 2010. Brasília, DF, 2011.
- ABREU, C. A.; RAIJ, B. van; ABREU, M. F.; GABE, U.; YASUDA, M. Reação e movimentação de boro no solo aplicado como ulexita, fritas e ácido bórico. In: FERTBIO, 2004, Lages. **Anais...** Lages: Universidade de Lages, 2004.
- ALTHOFF, P.; OLIVEIRA, A. C.; MORAIS, E. J.; FONSECA, S. Eucalypt dieback in "Cerrado" areas in north northwest of Minas Gerais. En: SCHÖNAU, A.P.G. Intensive forestry: the role of eucalypts. Pretoria: Southern African Institute of Forestry, 1991. p. 598-609.
- 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, MG, 2011.
- ANDRADE, S. C.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; TEIXEIRA, J. L.; LEAL G. L. Exigencia y distribución de boro en plantas de eucalipto. **Bosque**, Valdivia, v. 16, n. 1, p. 53-59, 1995.
- 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.
- ASAD, A.; BLAMEY, F. P. C.; EDWARDS, D. G. Effects of boron foliar applications on vegetative and reproductive growth of sunflower. **Annals of Botany**, London, v. 92, p. 565-570, 2003.
- 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 SUL-MATO-GROSSENSE DE PRODUTORES E CONSUMIDORES DE FLORESTAS PLANTADAS – REFLORE. **Revista MS Florestal 2013**. Campo Grande, 2013. Disponível em: <<http://www.reflore.com.br/dados/revista-ms-florestal-2013>>. Acesso em: 20 fev. 2017.
- BARRETTO, V. C. M.; VALERI, S. V.; SILVEIRA, R. L. V.; TAKAHASHI, E. N. Eficiência de uso de boro no crescimento de clones de eucalipto em vasos. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 1, n. 76, p. 21-33, 2007.
- 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.
- BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. Eucalypt nutrition and fertilizer regimes in Brazil. In: ATTIWILL, P. M.; ADAMS, M. A. **Nutrition of the eucalypts**. Collingwood: CSIRO, p. 335-356, 1996.

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; CARMO, D. N.; NEVES, J. C. L. Classificação nutricional de sítios florestais - descrição de uma metodologia. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 10, n. 1, p. 112-120, 1986.

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; LEAL, P. G. L. Fertilizing eucalypt plantations on the Brazilian savannah soils. **South African Forest Journal**, Pretoria, n. 160, p. 7-12, 1992.

BATISTA, D. C.; KLITZKE, R. J.; SANTOS, C. V. T. Basic density and retractibility of wood clones of three *Eucalyptus* species. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 665-674, 2010.

BELL, R. W.; DELL, B. **Micronutrients for sustainable food, feed, fibre and bioenergy production**. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2008. 175 p.

BELLOTE, A. F. J. **Concentração, acumulação e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis* (Hill, ex-Maiden) em função da idade**. 129 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP, Piracicaba, 1979.

BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D. Técnicas de amostragem e avaliações nutricionais em plantios de *Eucalyptus*. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e Fertilização Florestal**, Piracicaba: IPEF, 2000. p. 105-133.

BELLOTE, A. F. J.; FERREIRA, C. A. Nutrientes minerais e crescimento de árvores adubadas de *Eucalyptus grandis*, na região do cerrado, no Estado de São Paulo. **Boletim Pesquisa Florestal**, Colombo, v. 26-27, p. 17-65, 1993.

BENATTI, B. P. **Compartimentalização de biomassa e de nutrientes em estruturas de plantas de eucalipto cultivadas em solos distintos**. 2013. 115 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

BERGER, R.; SCHENEIDER, 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.

BERTOLUCCI, F.; REZENDE, G.; PENCHEL, R. Produção e utilização de híbridos de eucalipto. **Silvicultura**, São Paulo, v. 51, n. 51, p. 12-16, 1995.

BEULCH, L. S. **Biomassa e nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus saligna* Smith submetido ao primeiro desbaste**. 2013. 59 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; BOARETTO, R. M. Absorção e translocação de Mn, Zn e B Aplicados via foliar em Citros. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 24, n. 1, p. 177-197, 2003.

BOLOGNA, I. R. **Adubação boratada em pomar de laranja Pêra Rio afetado pela clorose variegada do citros**. 2003. 78 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

BOUCHARDET, J. A. **Crescimento, características físicas e anatômicas da madeira juvenil de dois clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden em resposta à aplicação de boro**. 2002. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia da Madeira) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

BROWN, P. H.; BELLALLOUI, N.; WIMMER, M. A.; BASSIL, E. S.; RUIZ, J.; HU, H.; PFERFFER, H.; DANDEL, F.; ROMHELD, V. Boron in plant biology. **Plant Biology**, Stuttgart, v. 4, p. 205-223, 2002.

BROWN, P. H.; HU, H. Phloem boron mobility in diverse plant species. **Botanica Acta**, Stuttgart, v. 111, p. 331-335, 1998.

BROWN, P. H.; HU, H. Phloem mobility of boron is species dependent. Evidence for phloem mobility in sorbitol rich species. **Annals of Botany**, London, v. 77, n. 5, p. 497-505, 1996.

BRIGHENTI, A. M.; MULLER, M. D. Controle do capim-braquiária associado à nutrição com boro no cultivo do mogno-africano em sistema silvipastoril. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 45, n. 4, p. 745-751, 2014.

BRUN, E. J.; BRUN, F. G. K.; CORRÊA, R. S.; VACCARO, S.; SCHUMACHER, M. V. Dinâmica de micronutrientes na biomassa florestal em estágios sucessionais de Floresta Estacional Decidual. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 307-318, 2010.

CALDEIRA, M. V. W.; MARQUES, R.; SOARES, R. V.; BALBINOT, R. Quantificação de serapilheira e de nutrientes – floresta ombrófila mista montana – Paraná. **Revista Acadêmica**, Curitiba, v. 5, n. 2, p. 101-116, 2007.

CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; PEREIRA, J. C.; FLORA, J. B. D.; SANTOS, E. M. Concentração e redistribuição de nutrientes nas folhas e no folheto em povoamento comercial de *Acacia mearnsii* De Wild. no Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 19-24, 1999.

CAMARGO, O. A. Reações e interações de micronutrientes no solo. 2006. Disponível em: <[http://www.infobibos.com/Artigos/2006\\_3/micronutrientes/Index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2006_3/micronutrientes/Index.htm)>. Acesso em: 23 fev. 2017.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2002. 407p.

CARVALHO, R. R.; ANDRADE, V. H. F.; LENER, J.; BASSO, S.; MANFIO, M. M. Estimativa dos micronutrientes na serapilheira acumulada de um povoamento de *Eucalyptus saligna* (Smith.), São Gabriel-RS. Enciclopédia biosfera, **Centro Científico Conhecer** - Goiânia, v. 11 n. 21, p. 976-983, 2015.



- CARVALHO, R. R. **Biomassa e nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus urograndis* estabelecido em um solo sujeito à arenização no sul do Brasil**. 2014. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.
- CELESTRINO, T. S. **Fontes e modos de aplicação de boro na cultura do eucalipto (clone I144)**. 2014. 56 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2014.
- CELESTRINO, T. S.; BUZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; GAZOLA, R. N.; DINALLI, R. P.; SILVA, P. H. M.; CARVALHO, A. C.; SARTO, G. D. Sources and application methods of boron in Eucalyptus crop. **Semina: Ciências agrárias**, Londrina, v. 36, n. 6, p. 3579-3594, 2015.
- CHAER, G. M.; TÓTOLA, M. R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 6, p. 1381-1396, 2007.
- COOKE, J. E. K.; MARTIN, T. A.; DAVIS, J. M. Short-term physiological and developmental responses to nitrogen availability in hybrid poplar. **New Phytologist**, Oxford, v. 167, p. 41-52, 2005.
- CORRÊA, R. S.; SCHUMACHER, M. V.; MOMOLLI, D. R. Deposição de serapilheira e micronutrientes ao longo das estações do ano em um plantio de eucalipto estabelecido sobre pastagem natural degradada no bioma pampa. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 44, n. 110, p. 435-442, 2016.
- CORRÊA, F. L. O. **Ciclagem de nutrientes em sistema agroflorestal com espécies frutíferas e florestais em Rondônia, Brasil**. 2005. 110 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.
- COSTA, V. E. **Caracterização físico-energética da madeira e produtividade de reflorestamentos de clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *E.urophylla***. 2006. 99 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.
- COUTINHO, J.; BENTO, J.; VALE, R. **Efeito da aplicação do boro em povoamentos de *Eucalyptus globulus* no norte e no centro de Portugal: 2º Relatório intercalar do projeto de investigação de CEDR**. Vila Real: Universidade de Trás-dos-Montes e Alto Douro, 1995. 32p.
- CHAVES, J. H.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; NEVES, J. C. L.; PEZZOPANE, J. E. M.; POLLI, H. Q. Seleção precoce de clones de eucalipto para ambientes com disponibilidade diferenciada de água no solo: relações hídricas de plantas em tubetes. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 3, p. 333-341, 2004.
- DAHMARDEH, M.; MEHRAVARAN, L.; NADERI, S. Eucalyptus plantlet growth in relation to foliar application with complete fertilizers in Southeast of Iran. Iran, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol. **African Journal of Biotechnology**, New York, v. 10, p. 14812-14815, 2011.

DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M.S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 327-354.

DELL, B.; MALAJCZUK, D.; XU, D.; GROVE, T. S. **Nutrient disorders in plantation eucalypts**. 2. ed. Canberra: ACIAR, 2001. 188 p.

DELL, B.; MALAJCZUK, N. Boron deficiency eucalypt in China. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 24, n. 12, p. 2409-2416, 1994.

DELL, B. Copper nutrition of *Eucalyptus maculate* Hook. Seedlings: requirements for growth, distribution of copper and diagnosis of copper deficiency. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 167, n. 2, p. 181-187, 1994.

DEL QUIQUI, E. M., MARTINS, S. S.; PINTRO, J. C., ANDRADE, P. J. P.; MUNIZ, A. S. Crescimento e composição mineral de mudas de eucalipto cultivadas sob condições de diferentes fontes de fertilizantes. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 26, n. 3, p. 293-299, 2004.

DIAS, L. P. R. **Fósforo e boro na adubação de *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii* em solos do planalto sul catarinense**. 2016. 158 f. Tese (Doutorado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Lages, 2016.

DICK, G.; SCHUMACHER, M. M.; MOMOLLI, D. R.; GUIMARÃES, C. C.; SOUZA, H. P.; LUDVICHAK, A. A. Micronutrients and biomass in *Eucalyptus dunnii* maiden stand. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 41, n. 1, p. 1-7, 2017.

ELRASHIDI, M. A.; O'CONNOR, G. A. Boron sorption and desorption in soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 46, n. 1, p. 27-31, 1982.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. Sunderland: Sinauer Associates, 2006. 400 p.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 183 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.

FERRANDO, M. G.; ZAMALVIDE, J. P. Aplicación de boro en eucalipto: comparación de fuentes. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 36, n. 6, p. 1191-1197, 2012.

FERRAZ, A. V. **Ciclagem de nutrientes e metais pesados em plantios de *Eucalyptus grandis* adubados com lodos de esgoto produzidos em diferentes estações de tratamento da região metropolitana de São Paulo**. 2009. 120 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

FERREIRA, M., KAGEYAMA, P. Y. Melhoria genética da densidade da madeira de eucalipto. **Boletim Informativo IPEF**, Piracicaba, v. 6, n. 20, p. A1-A14, 1978.

FERREIRA, R. M. A. **Crescimento de *Eucalyptus citriodora* em dois latossolos sob influência de níveis de boro e umidade**. 1992. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1992.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FIGUEIREDO FILHO, A.; MORAES, G. F.; SCHAAF, L. B.; FIGUEIREDO, D. J. Avaliação estacional da deposição de serapilheira em uma floresta ombrófila mista localizada no sul do Estado do Paraná. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 11-18, 2003.

FOELKEL, C.E.B.; BRASIL, M.A.M.; BARRICHELO, L.E.G. Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. **IPEF**, Piracicaba, n. 2/3, p. 65-74, 1971.

FONSECA, S. M.; RESENDE, M. D. V.; ALFEBAS, A. C.; GUIMARÃES, L. M. S.; ASSIS, T. F.; GRATTAPAGLIA, D. **Manual prático de melhoramento genético do eucalipto**. Viçosa, MG: UFV, 2010. 200 p.

FONSECA, S.; MALUF, J. L. P.; OLIVEIRA, A. C. Adubação de *Eucalyptus camaldulensis* com boro e zinco em solos de cerrado na região de Brasilândia-Minas Gerais. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., Campos do Jordão. **Anais...** São Paulo: SBS; SBEF, 1990.

FREITAS, R.; SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W.; SPATHELF, P. Biomassa e conteúdo de nutrientes em povoamento de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden plantado em solo sujeito à arenização, no município de Alegrete-RS. **Biomassa & Energia**, Viçosa, MG, v. 1, n. 1, p. 93-104, 2004.

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

GALRÃO, E. Z. Micronutrientes. In: SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina-DF: Embrapa Cerrados. 2002. p. 185-226.

GATTO, A.; BUSSINGUER, A. P.; RIBEIRO, F. C.; AZEVEDO, G. B.; BUENO, M. C.; MONTEIRO, M. M.; SOUZA, P. F. Ciclagem e balanço de nutrientes no sistema solo-planta em um plantio de *Eucalyptus* sp., no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, MG, v. 38, n. 3, p. 879-887, 2014.

GAVA, J. L.; GONCALVES, J. L. M. Soil attributes and wood quality for pulp production in plantations of *Eucalyptus grandis* clone. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 65, n. 3, p. 306-313, 2008.

GAZOLA, R. N. **Adubação nitrogenada, fosfatada e potássica na cultura do eucalipto (Clone I 144 – *E. urograndis*)**. 2014. 83 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2014.

- GONÇALVES, J. L. M.; ALVARES, C. A.; SOUZA, A. H. B. N.; JUNIOR, J. C. A. Caracterização edafoclimática e manejo de solos das áreas com plantações de eucalipto. In: SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M. (Org.). **Silvicultura do eucalipto no Brasil**. Santa Maria: Ed. da Universidade Federal de Santa Maria, 2015. p. 111-154.
- GONÇALVES, J. L. M. Fertilização de Plantações de Eucalipto. In: GONÇALVES, J. L. M.; PULITO, A. P.; ARTHUR JUNIOR, J. C.; SILVA, L. D. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, **Anais...** Piracicaba: IPEF, 2011. p. 85-114.
- 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**. 2. ed. Campinas: IAC, 1997. p. 247-260.
- GONÇALVES, J. L. M; MELLO, S. L. M. O sistema radicular das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 220-267.
- GONÇALVES, J. L. M.; VALERI, S. V. Eucalipto e Pinus. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; RAIJ, B. van.; ABREU, C.A. (Eds) **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p. 393-417.
- 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.
- GONÇALVES, J. L. M. Recomendações de adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e espécies Típicas da Mata Atlântica. **Documentos Florestais**, Piracicaba, v. 15, p. 1-23, 1995.
- GONSAGA, R. F. **Produção de madeira e eficiência de utilização de nutrientes em clones de eucaliptos em diferentes idades**. 2017. 50 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2017.
- GUEDES, M. C. **Ciclagem de nutrientes após aplicação de lodo de esgoto (biossólido) sobre latossolo cultivado com *Eucalyptus grandis***. 2005. 154 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- GUPTA, U. C. Factors affecting boron uptake by plants. In: GUPTA, U.C. (Ed.). **Boron and its role in crop production**. [S. l.]: Boca Raton, 1993. p. 87-104.
- HAAG, H. P.; SARRUGE, J. R.; OLIVEIRA, G. D.; POGGIANI, F.; FERREIRA, C. A. Análise foliar de cinco espécies de eucaliptos. **IPEF**, Piracicaba, v. 13, p. 99-116, 1976.
- HODECKER, B. E. R.; BARROS, N. F.; SILVA, I. R.; DIOLA, V.; SARKIS, J. E. S.; LOUREIRO, M. E. Boron delays dehydration and stimulates root growth in *Eucalyptus urophylla* (Blake, S.T.) under osmotic stress. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 384, n. 1, p. 185-199, 2014.

HODECKER, B. E. R. **Comparison of drought stress responses of tolerant and sensitive eucalypt genotypes**. 2015. 148f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2015.

HORTENSTINE, C. C.; ASHLEY, D. A.; WEAR, J. I. An evaluation of slowly soluble boron materials. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 29, p. 249-251, 1958.

HU, H.; BROWN, P. H. Absorption of boron by plants roots. In: DELL, B.; BROWN, P. H.; BELL, R.W. (Eds.). **Boron in soils and plants: reviews**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1997. p. 49-58.

HU, H.; BROWN, P. H.; LABAVITCH, J. M. Species variability in boron requirements is correlated with cell wall pectin. **Journal Experimental Botany**, Oxford, v. 47, n. 295, p. 227-232, 1996.

HUNTER, I. R.; WILL, G. M.; SKINNER, M. F. A strategy for the correction of boron deficiency in radiate pine plantations in New Zealand. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 37, n. 1/3, p. 77-82, 1990.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES PLANTADAS – IBÁ. **Ano base: 2014**. Brasília, DF: 2015. Disponível em: <[http://iba.org/images/shared/iba\\_2015.pdf](http://iba.org/images/shared/iba_2015.pdf)>. Acesso em: 10 jun. 2016.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES PLANTADAS - IBÁ. **Ano base: 2016**. Brasília, DF: 2017. Disponível em: <[http://iba.org/images/shared/iba\\_2017.pdf](http://iba.org/images/shared/iba_2017.pdf)>. Acesso em: 20 out. 2017.

JOSÉ, J. F. B. de S.; SILVA, I. R.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; SILVA, E. F.; SMYTH, T. J.; LEITE, F. P.; NUNES, F. N.; GEBRIM, F. O. Boron mobility in eucalyptus clones. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 6, p. 1733-1744, 2009.

KAUTER, D.; LEWANDOWSKI, I.; CLAUPEIN, W. Quantity and quality of harvestable biomass from Populus short rotation coppice for solid fuel use – a review of the physiological basis and management influences. **Biomass and Bioenergy**, [S. l.], v. 24, n. 6, p. 411-427, 2003.

LACLAU, J. P.; LEVILLAIN, J.; DELEPORTE, P.; NZILA, J. D. D.; BOUILLET, J. P.; SANTA, L.; VERSINI, A.; MARESCHAL, L.; NOUVELLON, Y.; M'BOU, A.T., RANGER, J. Organic residue mass at planting is an excellent predictor of tree growth in *Eucalyptus* plantations established on a sandy tropical soil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 260, n. 12, p. 2148-2159, 2010.

LEITE, S. M. M.; MARINO, C. L.; BONINE, C. A. V. Respostas de clones de *Eucalyptus grandis* e *E. grandis* x *E. urophylla* à supressão de boro. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 85, p. 19-25, 2010.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: EDUSP, 2005. 335 p.

LOOMIS, W. D.; DURST, R. W. Chemistry and biology of Boron. **Biofactors**, Amsterdam, v. 3, n. 4, p. 229-239, 1992.

LOPES, A. S. Micronutrientes: filosofias de aplicação, fontes, eficiência agrônômica e preparo de fertilizantes. In: SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA, **Anais...** Piracicaba: POTAFOS/CNPQ, 1991. p. 357-390.

LOPES, A. S. **Micronutrientes**: filosofias de aplicação e eficiência agrônômica. São Paulo: ANDA, 1999. 58 p. (Boletim Técnico, 8).

LOUÉ, A. **Oligoéléments en agriculture**. Antibes: SCPA, 1993. 577 p.

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: Agrônômica Ceres, 1980. 251 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p.

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

MALAVOLTA, E.; KLIEMANN, H. J. **Desordens nutricionais no cerrado**. Piracicaba: POTAFOS, 1985. 136 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutritional of higher plants**. London: Academic, 1995. 889 p.

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. San Diego: Academic, 1986. 681 p.

MATTIELLO, E. M.; RUIZ, H. A.; SILVA, I. R.; GUERRA, P. C.; ANDRADE, V. M.; Características fisiológicas e crescimento de clones de eucalipto em resposta ao boro. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 33, n. 5, p. 821-830, 2009.

MATTIELLO, E. M.; RUIZ, H. A.; SILVA, I. R.; SARKIS, J. E. S.; NEVES, J. C. L.; PUCCI, M. M. Phloem mobility of boron in two eucalypt clones. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 6, p. 1695-1704, 2009 b.

MATTIELLO, E. M. **Transporte no solo, absorção e translocação de boro por clones de eucalipto**. 2008. 98 f. (Tese de Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.

MELLEROWICZ, E. J.; SUNDBERG, B. Wood cell walls: biosynthesis, developmental dynamics and their implications for wood properties. **Current Opinion in Plant Biology**, London, v. 11, n. 3, p. 293-300, 2008.

- MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Dordrecht: Kluwer Academic, 2001. 859 p.
- MORAES, L. A. C.; MORAES, V. H. F.; MOREIRA, A. Relação entre flexibilidade do caule de seringueira e a carência de boro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 10, p. 1431-1436, 2002.
- MOREIRA, A.; MORAES, V. H. F.; CASTRO, C. Fontes e doses de boro em porta-enxertos de seringueira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 8, p. 1291-1298. 2006.
- MORAES M. F.; SANTOS, M. G.; BERMÚDEZ-ZAMBRANO, O. D.; MALAVOLTA, M.; RAPOSO, R. W. C.; CABRAL, C. P.; MALAVOLTA, E. Resposta do arroz em casa de vegetação a fontes de micronutrientes de diferentes granulometria e solubilidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 6, p. 611-614, 2004.
- MORTVEDT, J. J. Needs for controlled-availability micronutrient fertilizers. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 3, n. 38, p. 213-221, 1994.
- MULLICK, D. B. The non-specific nature of defense in bark on wood during wounding, insect and pathogen attack. In: LOEWEISS, F. A.; RONECKLES, V. C. (Ed). **Recent advances in phytochemistry**. New York: Plenum, 1997. p. 395-441.
- 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. Nutrição mineral do eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (Ed.). **Relação solo-eucalipto**. Viçosa, MG: Folha de Viçosa. 1990. p. 133-189.
- NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Interpretação de análise química do solo para o crescimento e desenvolvimento do *Eucalyptus* spp. Níveis críticos de implantação e manutenção. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 10, n. 1, p. 105-111, 1986.
- NUNES, F. N. **Crescimento e expressão gênica em clones de eucalipto influenciados pelo boro e déficit hídrico**. 2010. 65 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.
- OGURI, G. **Correlação entre biomassa e nutrientes de galhos e folhas em um plantio adensado de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla***. 2012. 35 f. Dissertação (Mestrado em Energia e Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu. 2012.
- OLIVEIRA, S. A; MORAES, M. L. T; BUZETTI, S. Efeito da adubação NPK com e sem boro no crescimento de *Eucalyptus citriodora* Hook. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 13, n. 2, p. 115-120, 2001.

PADULA, R. R. **Estudo comparativo de métodos para determinação da densidade básica de cavacos e discos de madeira**. 2013. 52 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2013.

PAULA, T. A. **Doses, fontes e formas de aplicação de boro em floresta de eucalipto**. 2009. 66 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

PAVAN, B. E. **Crescimento de clones de eucalipto submetidos a diferentes regimes hídricos em casa de vegetação**. 2003. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2003.

PEREIRA, A. R., BARROS, N. F.; ANDRADE, D. C.; CAMPOS, P. T. A. Concentração e distribuição de nutrientes em *Eucalyptus grandis* em função da idade, cultivado na região do cerrado. **Brasil Florestal**, Brasília, DF, v. 13, n. 59, p. 27-37, 1984.

PERICA, S.; BROWN, P. H., CONNELL, J. H.; NYOMORA, A. M. S.; DORDAS, C.; HU, H. Foliar boron application improves flower fertility and fruit se of olive. **HortScience**, Alexandria, v. 36, p. 714-716, 2001.

PINHEIRO, A. L. **Reflexos da fertilização mineral de boro na estrutura anatômica, no crescimento e na seca-de-ponteiro de *Eucalyptus citriodora* Hook e *Eucalyptus camaldulensis* Dehn no Cerrado de Minas Gerais**. 1999. 191 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

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.

POGGIANI, F., COUTO, H. T. Z.; SUITER FILHO, W. Biomass and nutriente estimates in short rotation intensively cultured plantation of *Eucalyptus grandis*. **IPEF**, Piracicaba, n. 23, p. 37-42, 1983.

PORTELA, E.; VALE, R.; ABREU, M. M. Carências de boro no interior: norte e centro - de Portugal. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 38, n. 4, p. 484-517, 2015.

PRITCHETT, W. L.; FISHER, R. F. **Properties and management of forest soils**. 2. ed. New York: J. Willey, 1987. 494 p.

PROTÁSIO, T. P.; GOULART, S. L.; NEVES, T. A.; ASSIS, M. R.; TRUGILHOS, P. F. Clones comerciais de *Eucalyptus* de diferentes idades para o uso bioenergético da madeira **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 101, p. 113-127, 2014.

QUAGGIO, J.A.; PIZA JUNIOR, C.T. Fruteiras Tropicais. In: FERREIRA, M.E. et. al. (Eds.) **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq, FAPESP/POTAFOS, 2001. p. 459-492.

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. 285p.

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, 285 p. 1997. (Boletim Técnico, 100).

RAMOS, S. J.; FAQUIN, V.; FERREIRA, R. M. A.; ARAÚJO, J. L.; CARVALHO, J. G. Crescimento e teores de boro em plantas de eucalipto (*Eucalyptus citriodora*) cultivadas em dois Latossolos sob influência de doses de boro e disponibilidade de água. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 33, n. 1, p. 57-65, 2009.

REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; FONTAN, I. C. I.; MONTE, M. A.; GOMES, A. N.; OLIVEIRA, C. H. Crescimento de raízes e da parte aérea de clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus* spp submetidos a dois regimes de irrigação no campo. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 6, p. 921-931, 2006.

REGUERA, M.; ESPI, A.; BOLANOS, L.; BONILLA, I.; REDONDO NIETO, M. Endoreduplication before cell differentiation fails in boron-deficient legume nodules. Is boron involved in signalling during cell cycle regulation?. **New Phytologist**, Oxford, v. 183, n. 1, p. 8-12., 2009.

ROCHA, G. N.; GONÇALVES, J. L. M.; MOURA, I. M. Mudanças da fertilidade do solo e crescimento de um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado com biossólido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 4, p. 623-639, 2004.

RODRIGUES, F. A. V.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; ALVAREZ V.V. H.; NOVAIS, R. F. Disponibilidade de cobre para mudas de eucalipto em solos de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 6, p. 1923-1932, 2010.

RODRIGUES, F. A. V.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; ALVAREZ V.V. H.; NOVAIS, R. F. Disponibilidade de zinco para mudas de eucalipto em solos de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 36, n. 4, p. 1249-1258, 2012.

SALVADOR, J. O.; MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; CABRAL, C. P. Influência do boro e do manganês no crescimento e na composição mineral de mudas de goiabeira. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 2, p. 325-331, 2003.

SANCHEZ, P.A. **Suelos del trópico**. San José: IICA, 1981. 634 p.

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

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.

SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M. Ciclagem de nutrientes em plantações de eucalipto. In: SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M. (Org.). **Silvicultura do eucalipto no Brasil**. Santa Maria – RS: Ed. da Universidade Federal de Santa Maria, 2015. p. 273-307.

SETTE JR., C.R.; OLIVEIRA, I.R.; TOMAZELLO FILHO, M.; YAMAJI, F.M.; LACLAU, J.P. Efeito da idade e posição de amostragem na densidade e características anatômicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 36, n. 6, p. 1183-1190, 2012.

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, v. 56, p. 69-82, 1999.

SGARBI, F.; SILVEIRA, R. L. V. A.; BRITO, J. O. Características químicas e físicas e dimensões das fibras da madeira juvenil do híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* cultivado na omissão de macronutrientes e boro em solução nutritiva. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 24, n. 3, p. 323-331, 2000.

SHIMOYAMA, V. R. S.; BARRICHELO, L. E. G. Densidade básica da madeira, melhoramento e manejo florestal. **IPEF**, Piracicaba, v. 6, n. 20, p. 1-22, 1989.

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, MG, 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 Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

SILVA, H. D. **Biomassa e aspectos nutricionais de cinco espécies do gênero *Eucalyptus*, plantadas em solos de baixa fertilidade**. 1983. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1983.

SILVA, P. H. M.; CAMPOE, O. C.; VIEIRA, I. G.; PAULA, R. C. DE. Aplicação foliar de boro em eucalipto sob estresse hídrico. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 106, p.395-405, 2015.

SILVA, S. R.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; PEREIRA, P. R. G. Eficiência nutricional de potássio e crescimento de eucalipto influenciados pela compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 4, p.1001-1010, 2002.

SILVA, I. R.; FURTINI NETO, A. E.; VALE, F. R.; CURI, N. Eficiência nutricional para potássio em espécies florestais nativas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 20, n. 2, p. 257-264, 1996.

SILVEIRA, R. L. V. A.; HIGASHI, E. N.; POMPERMAYER, P. N. **Monitoramento nutricional na siderúrgica Barra Mansa**: Relatório de pesquisa e assessoria, 1988. 92 p.

SILVEIRA, R. L. V. A.; HIGASHI, E. N.; PAULA, T. A. BOUCHARDET, J. A.; VALLE, C. F.; BONINE, C. A. V. **Exigência nutricional de clones de Eucalyptus em relação a boro**. Relatório de pesquisa da Votorantim Celulose e Papel, Luís Antônio, 2002b. 26 p.

SILVEIRA, R. L. V. A.; HIGASHI, E. N.; SGARBI, F.; MUNIZ, M. R. A. Seja doutor do seu eucalipto. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 93, 2001. 23 p.

SILVEIRA, R. L. V. A.; MOREIRA, A.; TAKAHASHI, E. N.; SGARBI, F.; BRANCO, E. F. Sintomas de deficiência de macronutrientes e de boro em clones híbridos de *Eucalyptus grandis* com *Eucalyptus urophylla*. **Cerne**, Lavras, v. 8, n. 2, p. 108-117, 2002.

SILVEIRA, R. L. V. A.; MOREIRA, A.; HIGASHI, E. N. Crescimento e sobrevivência de mudas de eucalipto sob doses de boro cultivadas em condições de viveiro e de campo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 2, p. 368-373, 2004.

SILVEIRA, R. L. V. A. **Crescimento e estado nutricional d Eucalyptus citriodora cultivado sob doses de boro e sua relação com a agressividade de Botryosphaeria ribis**. 1996. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1996.

SILVEIRA, R. L. V. A.; CAMARGO, M. A. F.; TAKAHASHI, E. N.; SGARBI, F. Efeito da omissão de macronutrientes, boro e zinco na rebrota do *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 26. **Anais...** Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997.

SILVEIRA, R. L. V. A.; HIGASHI, E. N.; MOREIRA, A. **Monitoramento nutricional na Iwarcel**. [S. l.]: Relatório de Assessoria e Pesquisa, 1999. 62p.

SILVEIRA, R. L. V. A.; HIGASHI, E. N., POMPERMAYER, P. N. Monitoramento Nutricional na Siderúrgica Barra Mansa. [S. l.: s. n.], 1998. 92 p.

SILVEIRA, L. V. A., COUTO, H. T. Z. O uso do boro na área florestal: reflexão e perspectivas futuras. **Boletim Informativo**, Piracicaba, v. 3, n. 31, p. 4-5, 1997.

SINGH, R. K.; DUTTA, R. K.; AGRAWAL, M. Litter decomposition and nutrient release in relation to atmospheric deposition of S and N in a dry tropical region. **Pedobiologia**, Jena, v. 48, n. 4, p. 305-311, 2004.

TIRLONI, C.; DANIEL, O.; VITORINO, A. C. T; NOVELINO, J. O; CARDUCCI, C. E; HEID, D. M. Crescimento de *Corymbia citriodora* sob aplicação de boro nas épocas secas e chuvosas no Mato Grosso do Sul, Brasil. **Silva Lusitana**, Oeiras, v. 19, n. 2, p. 185-194, 2011.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A.; LINO, A. L. Avaliação de clones de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal. **Cerne**, Lavras, v. 7, n. 2, p. 104-114, 2001.

VALERI, S. V.; CORRADINI, L. Fertilização em viveiros para produção de mudas de *Eucalyptus* e *Pinnus*. In: GONÇALVES, J.L.M., BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p.167-190.

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.

VANDERLEI, J. C.; FAQUIN, V.; GUEDES, G. A. A.; CURI, N. Boro em materiais de três solos do município de Lavras, MG. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 23, n. 12, p. 1421-1430, 1988.

VERÃO, D. S.; BLEICH, M. E.; MARTINS, N. P.; BASSOTTO, J. M.; MORTAT, A. F.; SANTOS, A. F. A. Concentração de nutrientes em *Eucalyptus urograndis* (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T Blake) com sete anos de idade na borda sul da Amazônia. **Revista Biodiversidade**, Rondonópolis, v. 15, n. 3, p. 35-44, 2016.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; ARAÚJO, E. F.; CORRÊA, R. S.; CALDEIRA, M. V. W. Deposição de serapilheira e nutrientes em plantio de *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus*. **Floresta e ambiente**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 3, p. 327-338, 2014.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Dinâmica de Decomposição e Nutrientes em Plantio de *Eucalyptus Urophylla* x *Eucalyptus Globulus* no Sul do Brasil. **Floresta e ambiente**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 3, p. 351-360, 2013.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; TRÜBY, P. ; ARAÚJO, E. F. Biomassa e nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus*, em Eldorado do Sul-RS. **Ecologia e Nutrição Florestal**, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 1-13, 2013b.

VIERA M. **Dinâmica nutricional em um povoamento híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* em Eldorado do Sul-RS**. 2012. 119 f. Tese (Doutorado) - Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

VIERA, M.; BONACINA, D. M.; SCHUMACHER, M. V.; CALIL, F. N.; CALDEIRA, M. V. W.; WATZLAWICK, L. F. Biomass and nutrients in *Eucalyptus urograndis* stands in southeastern Mountain Range-RS. **Semina: Ciências agrárias**, Londrina, v. 33, n. 1, p. 2481-2490, 2012.

VIERA, M.; CALDATO S.L.; ROSA, S.F.; KANIESKI, M.R.; ARALDI, D.B.; SANTOS, S.R.; SCHUMACHER, M.V. Nutrientes na serapilheira em um fragmento de floresta estacional decidual, Itaara, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 611-619, 2010.

VITAL, B.R. Método de determinação da densidade da madeira. **Boletim Técnico SIF**, Viçosa, MG, n. 1, p. 1-21, 1984.

VOGEL, H. L. M.; SCHUMACHER, M. V.; TRUBY, Micronutrientes na biomassa acima do solo em uma floresta estacional subtropical. **Cerne**, Lavras, v. 21, n. 2, p. 175-182, 2015.

VOLKWEISS, S. J. Fontes e métodos de aplicação. In: Simpósio sobre micronutrientes na agricultura, 1988, Jaboticabal. **Anais...** Piracicaba, POTAFOS/CNPQ, 1991. p. 391-412.

YAMAUCHI, T.; HARA, T.; SONODA, Y. Effects of boron deficiencies and calcium supply on the calcium metabolism in tomato plant. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 93, n. 2, p. 223-230, 1986.

YIN, C.; PANG, X.; CHEN, K. The effects of water, nutrient availability and their interaction on the growth, morphology and physiology of two poplar species. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 67, n. 1, p. 196-203, 2009.

ZAIA, F. C.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Ciclagem e balanço de nutrientes em povoamentos de eucalipto na região norte fluminense. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 5, p. 843-852, 2000.