



**CLAUDINÉIA OLÍMPIA DE ASSIS**

**NÍVEIS DE FERTILIZAÇÃO E SEUS EFEITOS  
NO CRESCIMENTO, NAS CARACTERÍSTICAS  
DA MADEIRA E DO CARVÃO EM CLONES DE  
HÍBRIDO DE *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus*  
*urophylla***

**LAVRAS - MG**

**2013**

**CLAUDINÉIA OLÍMPIA DE ASSIS**

**NÍVEIS DE FERTILIZAÇÃO E SEUS EFEITOS NO CRESCIMENTO,  
NAS CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA E DO CARVÃO EM CLONES  
DE HÍBRIDO DE *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla***

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Processamento e Utilização da Madeira, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Paulo Fernando Trugilho

**LAVRAS - MG**

**2013**

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca da UFLA**

Assis, Claudinéia Olímpia de.

Níveis de fertilização e seus efeitos no crescimento, nas características da madeira e do carvão em clone de híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* / Claudinéia Olímpia de Assis. – Lavras: UFLA, 2013.

149 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

Orientador: Paulo Fernando Trugilho.

Bibliografia.

1. Nutrição mineral. 2. Experimento. 3. Qualidade. 4. Biomassa.  
5. Carvão vegetal I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 674.1

**CLAUDINÉIA OLÍMPIA DE ASSIS**

**NÍVEIS DE FERTILIZAÇÃO E SEUS EFEITOS NO CRESCIMENTO,  
NAS CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA E DO CARVÃO EM CLONES  
DE HÍBRIDO DE *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla***

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Processamento e Utilização da Madeira, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 28 de fevereiro de 2013.

Dra. Maria Lúcia Bianchi	UFLA
Dra. Margarete Lordelo Marin Volpato	UFLA
Dr. Antonio Eduardo Furtini Neto	UFLA
Dr. José Tarcísio Lima	UFLA

Dr. Paulo Fernando Trugilho  
Orientador

**LAVRAS – MG**

**2013**

## AGRADECIMENTOS

Ao nosso Senhor JESUS e a todos os mentores espirituais, agradeço de todo o meu coração, acima de tudo e de todas as coisas, por estar sempre presente iluminando o meu caminho e por permitir mais uma conquista na minha vida.

Aos meus pais, Iracilda e Lázaro, base de toda minha existência, obrigada pela confiança depositada em mim durante todos estes anos e por estarem presentes em todos os momentos.

Aos meus queridos irmãos, que sempre estiveram do meu lado, e sei que sempre poderei contar com vocês, obrigada por vocês existirem.

Aos meus irmãos, *in memoriam*, Lucinéia e Carlos que, apesar de terem deixado a vida tão cedo, sempre torceram por mim durante todos os momentos em que estiveram do meu lado.

À Universidade Federal de Lavras, pela realização do curso.

À CAPES, pela concessão da bolsa e pelo financiamento do projeto.

Ao grupo APERAM Bioenergia, por ter cedido o material necessário para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu orientador e amigo, professor Dr. Paulo Fernando Trugilho, obrigada pela orientação, aprendizagem, amizade e confiança nos trabalhos, que sempre serão lembrados.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, pelos ensinamentos transmitidos.

Ao professor Dr. Antônio Eduardo Furtini Neto, do Departamento de Ciência do Solo, pela ajuda durante a realização deste trabalho.

Às minhas amigas que serão para sempre, Selma, Isabel e Maíra, que estiveram sempre do meu lado e também pela ajuda nos momentos mais difíceis.

A Luana, Alessandra, Tayana, João Vitor, Luís, Allan e Thiago, pela ajuda prestada e orientações durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

Aos amigos que estiveram comigo durante esta jornada, Cláudia, Marisa, Edson, Andréa, Renilson e Thomé, e a todos os meus amigos do Laboratório Biomateriais.

Aos membros da banca, pela ajuda e sugestões e a todos os funcionários do Departamento de Ciências Florestais, em especial à secretária Cristiane, pela amizade conquistada e também pela ajuda durante o curso.

E a todos aqueles que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito da nutrição mineral sobre as características de crescimento, qualidade da madeira e do carvão vegetal de um clone híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophiella*, plantado experimentalmente em ensaios de fertilização. Foram analisadas 264 árvores aos seis anos de idade, plantadas em espaçamento de 3 m x 3 m, procedente da Empresa APERAM Bioenergia, localizada no alto do Vale do Jequitinhonha, no município de Itamarandiba, Minas Gerais. Foram avaliados três experimentos: Experimento 1: denominado de fertilização nitrogenada, contendo cinco tratamentos; Experimento 2: denominado de fertilização fosfatada, sendo avaliados nove tratamentos e Experimento 3: denominado de fertilização potencial, sendo estudados cinco tratamentos. Os experimentos, implantados em junho de 2005, foram avaliados considerando-se o delineamento em blocos casualizados em quatro repetições (blocos), tendo sido amostradas duas árvores por tratamento, em cada bloco. Nos experimentos 2 e 3, em novembro de 2008, foi realizada uma adubação complementar. Dessa forma, optou-se por avaliar os tratamentos considerando a adubação inicial de plantio, o efeito da adubação complementar e uma avaliação geral, em que foram considerados, simultaneamente, todos os tratamentos antes e após a adubação complementar. Na avaliação dos experimentos, consideraram-se as características de crescimento da árvore, densidade básica e estimativa de massa seca, análise da composição química, energética e as dimensões das fibras da madeira. A madeira foi carbonizada e o carvão produzido foi avaliado quantitativamente e qualitativamente. Os resultados permitem concluir que, de maneira geral, não ocorreu efeito da fertilização na qualidade da madeira e do carvão vegetal para o experimento com fontes de nitrogênio, fósforo e potencial, embora, para as características de crescimento da madeira, o efeito da fertilização tenha apresentado uma tendência de aumento para todos os experimentos. Para algumas características, em especial a densidade básica, que apresentou tendência de redução com o aumento das doses desses nutrientes e, conseqüentemente, uma redução na estimativa de massa seca. Os teores de extrativos totais e lignina apresentaram tendência de aumento com a adubação nitrogenada e potencial. Para o carvão vegetal não ocorreram diferenças significativas para as características analisadas, porém, a adubação complementar apresentou uma ligeira redução para as características de rendimento, densidade relativa aparente, química e energética do carvão vegetal. No entanto, a aplicação da adubação complementar para avaliar as propriedades da madeira e do carvão vegetal não é justificável, levando em consideração o alto custo dos nutrientes.

Palavras-chave: Nutrição. Qualidade. Madeira. Carvão.

## ABSTRACT

This work was developed with the aim to evaluate the effect of mineral nutrition on growth characteristics, wood and charcoal quality of a hybrid clone of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* planted experimentally in fertilization essays. In this study, 264 six years old trees were used, planted in a spacing of 3 x 3 m, which came from the company APERAM Bioenergia, located in the upper Vale do Jequitinhonha, municipality of Itamarandiba, Minas Gerais state. Three experiments were evaluated: Experiment 1, called nitrogen fertilization, containing five treatments; Experiment 2, called phosphate fertilization, with nine treatments; Experiment 3, called potential fertilization, with five treatments. Experiments were evaluated considering a randomized blocks design in four repetitions (blocks). In the experiments, two trees were sampled per treatment in each block. Experiments were implanted in June 2005. On experiments 2 and 3 in November 2008 a complementary fertilization was made. Thus, treatments were evaluated considering initial fertilization, the effect of complementary fertilization, and a general assessment, in which all treatments were evaluated simultaneously before and after complementary fertilization. The assessment of experiments considered growth characteristics like basic density and estimate of dry mass, besides analysis of chemical and energetic composition and dimensions of wood fibers. Wood was carbonized and the produced charcoal was evaluated quantitatively and qualitatively. Results allow concluding that, in general, there was not effect of the fertilization on the wood and charcoal quality for the experiment with nitrogen, phosphorous and potential fertilization, although for growth characteristics of wood the effect of fertilization tended to increase in all experiments. For some characteristics, especially basic density, there was a tendency to reduction as nutrients content increased, and consequently a reduction on the estimate of dry mass. The content of total extractive and lignin tended to increase with nitrogen and potential fertilization. For charcoal there was no significant differences for the analyzed characteristics, however, complementary fertilization presented a slight reduction for characteristics of yield, apparent relative density, chemical and energetics of charcoal. However, applying complementary fertilization to evaluate wood and charcoal properties is not justifiable when considering the high cost of nutrients.

Keywords: Nutrition. Quality. Wood. Charcoal.



## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	13
2.1	Setor florestal .....	13
2.2	Qualidade da madeira .....	14
2.3	O efeito da fertilização na qualidade da madeira .....	14
2.4	Adubação nitrogenada .....	17
2.5	Adubação fosfatada .....	18
2.6	Carvão vegetal.....	19
3	MATERIAL E MÉTODOS .....	21
3.1	Material biológico .....	21
3.2	Descrição dos experimentos .....	21
3.2.1	Experimento 1 - fertilização nitrogenada .....	21
3.2.2	Experimento 2 - fertilização fosfatada .....	25
3.2.3	Experimento 3 - fertilização potencial .....	31
3.3	Características de crescimento da árvore.....	35
3.4	Estimativa de massa seca da madeira .....	35
3.5	Densidade básica da madeira .....	35
3.6	Composição química da madeira .....	36
3.7	Dimensões das fibras da madeira .....	36
3.8	Composição química elementar da madeira .....	37
3.9	Poder calorífico superior da madeira .....	37
3.10	Carbonização da madeira .....	38
3.11	Densidade relativa aparente do carvão vegetal .....	38
3.12	Análise química imediata do carvão vegetal .....	38
3.13	Poder calorífico superior do carvão vegetal .....	39
3.14	Delineamento estatístico adotado .....	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	40
4.1	Experimento 1: fertilização nitrogenada .....	40
4.1.1	Características de crescimento, densidade básica e estimativa de massa seca.....	40
4.1.2	Avaliação das características químicas e energéticas da madeira .....	47
4.1.3	Avaliação da composição química elementar da madeira.....	48
4.1.4	Avaliação das dimensões das fibras da madeira .....	50
4.1.5	Avaliação dos rendimentos gravimétricos e da densidade relativa aparente do carvão vegetal .....	51
4.1.6	Avaliação das características químicas e energéticas do carvão vegetal..	54
4.2	Experimento 2: fertilização fosfatada .....	55
4.2.1	Avaliação inicial sem considerar a adubação complementar .....	55
4.2.1.1	Características de crescimento, densidade básica e estimativa de massa seca.....	55
4.2.1.2	Avaliação das características químicas e energéticas da madeira.....	56
4.2.1.3	Avaliação da composição química elementar da madeira.....	57
4.2.1.4	Avaliação das dimensões das fibras da madeira .....	58

4.2.1.5	Avaliação dos rendimentos gravimétricos e da densidade relativa aparente do carvão vegetal .....	59
4.2.1.6	Avaliação das características químicas e energéticas do carvão vegetal..	61
4.2.2	Avaliação considerando apenas a adubação complementar .....	64
4.2.2.1	Características de crescimento, densidade básica e estimativa de massa seca.....	64
4.2.2.2	Avaliação das características químicas e energéticas da madeira.....	65
4.2.2.3	Avaliação da composição química elementar da madeira.....	66
4.2.2.4	Avaliação das dimensões das fibras da madeira .....	68
4.2.2.5	Avaliação dos rendimentos gravimétricos e da densidade relativa aparente do carvão vegetal .....	69
4.2.2.6	Avaliação das características químicas e energéticas do carvão vegetal..	71
4.2.3	Avaliação considerando a adubação inicial somado a adubação complementar.....	72
4.2.3.1	Características de crescimento, densidade básica e estimativa de massa seca.....	72
4.2.3.2	Avaliação das características químicas e energéticas da madeira.....	76
4.2.3.3	Avaliação da composição química elementar da madeira.....	78
4.2.3.4	Avaliação das dimensões das fibras da madeira .....	79
4.2.3.5	Avaliação dos rendimentos gravimétricos e da densidade relativa aparente do carvão vegetal .....	80
4.2.3.6	Avaliação das características químicas e energéticas do carvão vegetal..	81
4.3	Experimento 3 - fertilização potencial .....	82
4.3.1	Avaliação inicial sem considerar a adubação complementar .....	82
4.3.1.1	Características de crescimento, densidade básica e estimativa de massa seca.....	82
4.3.1.2	Avaliação das características químicas e energéticas da madeira.....	85
4.3.1.3	Avaliação da composição química elementar da madeira.....	86
4.3.1.4	Avaliação dimensões das fibras da madeira .....	87
4.3.1.5	Avaliação dos rendimentos gravimétricos e da densidade relativa aparente do carvão vegetal .....	88
4.3.1.6	Avaliação das características químicas e energéticas do carvão vegetal..	91
4.3.2	Avaliação inicial considerando a adubação complementar .....	92
4.3.2.1	Características de crescimento, densidade básica e estimativa de massa seca.....	92
4.3.2.2	Avaliação das características químicas e energéticas da madeira.....	95
4.3.2.3	Avaliação da composição química elementar da madeira.....	96
4.3.2.4	Avaliação das dimensões das fibras da madeira .....	98
4.3.2.5	Avaliação dos rendimentos gravimétricos e da densidade relativa aparente do carvão vegetal .....	99
4.3.2.6	Avaliação das características químicas e energéticas do carvão vegetal	100
4.3.3	Avaliação considerando a adubação inicial somado a adubação complementar.....	101
4.3.3.1	Características de crescimento, densidade básica e estimativa de massa seca.....	101
4.3.3.2	Avaliação das características químicas e energéticas da madeira.....	106

4.3.3.3	Avaliação da composição química elementar da madeira.....	107
4.3.3.4	Avaliação das dimensões das fibras da madeira .....	109
4.3.3.5	Avaliação dos rendimentos gravimétricos e da densidade relativa aparente do carvão vegetal .....	110
4.3.3.6	Avaliação das características químicas e energéticas do carvão vegetal	111
5	CONCLUSÕES.....	114
	REFERÊNCIAS.....	118
	ANEXOS .....	129

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o gênero *Eucalyptus*, em razão do seu rápido crescimento, da boa qualidade e também da boa adaptabilidade ecológica, vem sendo amplamente plantado em escala comercial para a produção de madeira de qualidade para diversos usos.

Em 2011, a área de plantios de *Eucalyptus*, no Brasil, era de 4,8 milhões de hectares, representando um crescimento de 2,5% (119,6 mil ha) frente ao indicador de 2010. Este valor corresponde a 74,8% dos plantios florestais do Brasil, estando 54,2% concentrados na região sudeste (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS, 2012).

Um dos avanços que possibilitaram a maior produção, a homogeneização e também a melhoria da qualidade da matéria-prima para determinados usos, principalmente na indústria, foi a implantação do melhoramento genético para a formação de florestas. Porém, entre os diversos fatores condicionantes da produção florestal, o espaçamento e a fertilização vêm exercendo papéis fundamentais no estabelecimento, na condução da floresta e nos custos de produção.

Para atender à demanda da produtividade das plantações florestais, as universidades, as instituições de pesquisa e as empresas têm desenvolvido pesquisas para o aumento da produção, com investimentos em melhoramento genético e clonagem, preparo do solo e fertilização mineral das árvores (TOMAZELLO FILHO, 2006).

As empresas reflorestadoras, conhecendo o potencial técnico e a viabilidade econômica das madeiras de reflorestamento, vêm desenvolvendo novas linhas de produtos e, com isso, as exigências do mercado consumidor de produtos florestais aumentam a cada dia.

Dessa forma, as indústrias requerem cada vez mais florestas altamente produtivas e matéria-prima com altos padrões de qualidade.

Para que isso seja possível, é interessante que as práticas silviculturais e as técnicas de manejo estejam aliadas a uma ou mais formas de estratégias de melhoramento florestal, para prover materiais genéticos diversificados e melhorados, para atender aos fatores de quantidade e qualidade.

Dessa forma, tanto a nutrição como o espaçamento, que são considerados fatores da produção florestal, podem influenciar a taxa de crescimento das árvores, a qualidade da madeira, a idade de corte, bem como práticas de implantação, manejo e colheita (BALLONI; SIMÕES, 1980; BERGER et al., 2002).

Diante do exposto, este trabalho foi realizado com o objetivo de destacar o efeito da nutrição mineral sobre as características de crescimento da árvore, qualidade da madeira e do carvão vegetal produzido por um clone híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, plantado experimentalmente em ensaios de fertilização.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Setor florestal

No Brasil, o setor florestal é constituído, basicamente, pelas indústrias de celulose e papel, produção de carvão vegetal para siderúrgicas, madeira serrada, chapas e aglomerados. Atualmente, o setor florestal, que já recebeu investimentos da ordem de US\$ 550 milhões, aplicados no desenvolvimento científico e tecnológico, é uma das atividades mais produtivas do país, ocupando posição de destaque no *ranking* das exportações do agronegócio nacional (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS, 2012). Os investimentos no setor florestal brasileiro, realizados durante uma década, possibilitaram a implantação de, aproximadamente, 6,2 milhões de hectares de florestas plantadas. O resultado, hoje, é a contribuição de R\$ 8,82 milhões em tributos, 0,83% do total recolhido aos cofres públicos do país, em 2008. No quesito exportação, a indústria de base florestal contribuiu com US\$ 6,8 bilhões, o correspondente a 3,0% do total do Brasil.

O principal fator que alavancou esse crescimento foi o estabelecimento de novos plantios frente à demanda futura dos projetos industriais do segmento de papel e celulose, energia da biomassa e painéis. Nesse contexto, estados como Minas Gerais, São Paulo, Bahia, Mato Grosso do Sul, Rio Grande do Sul, Espírito Santo e Paraná se destacam nessas atividades e detêm 85,8% dos plantios do gênero *Eucalyptus* (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS, 2012).

## **2.2 Qualidade da madeira**

O conceito da qualidade da madeira, que evoluiu ao longo dos tempos, é hoje encarado como um conceito dinâmico que integra o conjunto de características anatômicas, físicas, químicas e de resistência que lhe conferem aptidão para determinado uso final (BIRKLAND, 1990; CASTELO et al., 2008).

A madeira é julgada pela sua qualidade para o uso a que foi destinada: a fabricação de compensados, a produção de celulose e papel ou, após o desdobro, nas serrarias. No entanto, a qualidade, por sua vez, é avaliada por parâmetros como densidade, comprimento de fibra e ângulos das fibrilas, que afetam diretamente as propriedades físicas e mecânicas da madeira (JANKOWSKY, 1979; PAULESKI, 2010).

Assim, vários fatores influenciam a adequação da madeira para diversas finalidades, como massa específica, uniformidade de anéis de crescimento, percentagem de cerne e alburno, comprimento das fibras, inclinação de grã, percentagem de vasos em folhosas, presença de madeira juvenil e de reação, além de composição celular, presença de nós, orientação da grã e composição química (CHIES, 2005; PAULESKI, 2010).

A prática de atividades silviculturais, como, por exemplo, o controle do espaçamento, entre outras, afeta a qualidade da madeira em decorrência do seu efeito nos padrões de crescimento das árvores (KELLISON; RUSS; FREDERICK, 1983).

## **2.3 O efeito da fertilização na qualidade da madeira**

No Brasil, as plantações comerciais de eucalipto, normalmente, ocupam solos de baixa fertilidade, caracterizados pelo baixo teor de nutrientes

disponíveis para as plantas e pequena reserva nutricional (BARROS; NOVAIS, 1996).

Além disso, são solos com baixa saturação por bases, elevada acidez, alta capacidade de fixação de fósforo e ricos em sesquióxidos de Fe e Al, características que, em conjunto com o curto ciclo de corte da cultura do eucalipto e a exportação de nutrientes, indicam que a manutenção da produtividade é dependente da adição de fertilizantes (BARROS; NOVAIS, 1996).

Segundo Mello et al. (1970), o uso da fertilização é a ferramenta mais eficaz quando se deseja melhorar a qualidade do solo e também aumentar a taxa de crescimento das árvores. A quantidade, o tipo e a época de aplicação dos fertilizantes podem vir a ocasionar alterações na qualidade da madeira, e estas mudanças dependem da espécie e da fertilidade do solo. Os autores sugerem que, do ponto de vista econômico, seria interessante que esse aumento de volume fosse obtido para um menor número de árvore por hectare, resultando em árvores de maior diâmetro e de maior altura pela aplicação de fertilizantes (BERGER et al., 2002).

O efeito significativo da fertilização mineral em árvores de eucalipto é reconhecido há algumas décadas, desde as pesquisas iniciais realizadas por Mello et al. (1970) com árvores de *Eucalyptus saligna*, aos 2 anos de idade, em solos pobres e ácidos do cerrado, obtendo diferença de 33 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> na produção de madeira das árvores adubadas e não adubadas. Posteriormente, outros autores verificaram aumentos de 67% a 118% do volume de madeira de árvores de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis* adubadas com potássio, no cerrado do estado de Minas Gerais (BARROS et al., 1981; MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; SETTE JUNIOR et al., 2009) e no sul do estado de São Paulo (GAVA, 1997), respectivamente. Entretanto, enquanto a fertilização resulta em ganhos de produtividade, pouco se sabe sobre os prováveis efeitos



que ela pode causar nas propriedades físicas, químicas e anatômicas da madeira produzida (BARREIROS et al., 2007; LIMA et al., 2011).

Segundo Latorraca e Albuquerque (2000), algumas práticas silviculturais, como a fertilização, podem aumentar o crescimento, resultando em taxas de produção em larga escala de madeiras com menor qualidade, o que as torna potencialmente inadequados para alguns usos e aplicações.

Mello (1968), estudando o efeito de NPK e calagem sobre a qualidade da madeira do *Eucalyptus saligna*, observou que a densidade, o comprimento das fibras e a espessura não foram afetados pela aplicação de macronutrientes primários, exceto calcário ( $2 \text{ t ha}^{-1}$ ), que reduziu significativamente o comprimento das fibras. Similarmente, Andrade et al. (1994) e Sette Júnior et al. (2009) observaram reduções significativas no comprimento das fibras e aumento da concentração de extrativos em madeira de *Eucalyptus grandis*, devido à aplicação de calcário calcítico.

Em estudos com a adubação fosfatada e sulfatada e a calagem do solo, Andrade et al. (1994) verificaram que houve uma redução da densidade básica do cerne e do alburno, embora não significativa, de árvores de *Eucalyptus grandis* aos 6 anos de idade. A formação de fibras de menor diâmetro e espessura da parede celular ocorreu devido à aplicação de fosfato e gesso; a calagem promoveu a formação de fibras de maior diâmetro e espessura de parede e também vasos com maior diâmetro (TOMAZELLO FILHO, 2006).

Valeri et al. (1990) verificaram que a variação da densidade básica do lenho no sentido longitudinal do tronco das árvores de *Eucalyptus grandis*, aos 7,5 anos de idade, não foi afetada pela aplicação de calcário dolomítico diminuindo, no entanto, com a incorporação  $200 \text{ kg.ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  no solo.

## 2.4 Adubação nitrogenada

O nitrogênio é o nutriente que se encontra em maiores concentrações nos vegetais superiores. Sua participação no metabolismo da maioria das espécies cultivadas tem sido bastante estudada, principalmente as de ciclo anual, mas poucos estudos têm sido conduzidos com espécies florestais em condições tropicais (JESUS et al., 2012).

Taiz e Zeiger (2009) afirmam que o nitrogênio é um dos elementos mais importantes para a produtividade vegetal de todos os ecossistemas, destacando-se, principalmente, os ácidos nucleicos, os aminoácidos e a clorofila, além de fazer parte de vários compostos nas plantas. De acordo com Cantarella (2007), a presença do nitrogênio está envolvida na maioria das reações bioquímicas das plantas, tornando-se, assim, um dos nutrientes absorvidos em maiores quantidades. Somente o oxigênio, o hidrogênio e o carbono são mais abundantes nas plantas que o nitrogênio (TAIZ; ZEIGER, 2009).

O eucalipto pode responder à fertilização, particularmente com nitrogênio, aumentando a área foliar, com conseqüente aumento de volume do tronco (SMETHURST et al., 2003).

Segundo Pulito (2009), o nitrogênio demandado pelas árvores não é liberado do solo para as plantas no início do povoamento, somente após a mineralização do nitrogênio orgânico e o solo passa então a atender à demanda da planta. No entanto, a pequena resposta do eucalipto à adubação nitrogenada pode ser atribuída à maior quantidade de nitrogênio mineralizado da matéria orgânica do solo (GAMA-RODRIGUES, 1997; PULITO, 2009).

## 2.5 Adubação fosfatada

Normalmente, os solos tropicais apresentam baixa concentração de fósforo disponível e alto potencial de fixação desse elemento aplicado via fertilizantes, o que o torna um dos nutrientes que mais limitam a produção das culturas no Brasil (PRADO, 2008). Devido à baixa mobilidade do nutriente fósforo no solo, o seu suprimento para as raízes é efetuado, principalmente, pelo processo de difusão, o qual depende da umidade do solo e da superfície radicular (GAHOONIA; RAZA; NIELSEN, 1994).

Por causa da baixa mobilidade do fósforo no solo, a sua localização em relação à planta tem grande significado prático em reflorestamentos de eucaliptos no país, principalmente em solos com extrema deficiência em fósforo. Assim, a aplicação desse nutriente localizadamente fará com que partes do sistema radicular possam estar em contato com áreas de alta concentração desse nutriente, enquanto outras estarão em área de muito baixa concentração (NOVAIS; BARROS; NEVES, 1990; COSTA FILHO, 2010).

Considerando a baixa fertilidade dos solos florestais, a aplicação de fósforo tem sido essencial para o aumento e a manutenção da produtividade das florestas implantadas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS, 2012). Para isso, é importante que sejam tomadas algumas medidas para aumentar a eficiência da adubação fosfatada, como selecionar genótipos mais eficientes na absorção e utilização de fósforo; determinar a dose adequada e econômica em função do tipo de solo (acidez do solo, quantidade e qualidade das argilas) e do material genético; estabelecer a melhor fonte de fósforo em função dos aspectos técnicos e econômicos; determinar a melhor forma e época de aplicação e determinar a resposta à aplicação de fósforo (dose, fonte e forma) em brotação e em florestas deficientes (SILVEIRA, 2000).

As plantas absorvem fósforo na forma de  $\text{H}_2\text{PO}_4$  e  $\text{HPO}_4^{-2}$ . Após a absorção, de 80% a 90% do fósforo são rapidamente incorporados a compostos orgânicos, principalmente na forma de hexose fosfato e uridina fosfato (MENGEL; KIRKBY, 1978; MARSCHNER, 1995). O fósforo faz parte estrutural dos ésteres de carboidratos, fosfolipídeos das membranas celulares, coenzimas e ácidos nucleicos (MARSCHNER, 1995; MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). O fósforo faz parte das moléculas de preservação e transferência de energia como uridina trifosfato (UTP), cistidina trifosfato (CTP), guanosina trifosfato (GTP) e adenosina trifosfato (ATP).

## 2.6 Carvão vegetal

O Brasil destaca-se no cenário mundial como o maior produtor e consumidor de carvão vegetal, sendo o único país no mundo em que este insumo tem aplicação industrial em grande escala, sendo o destino principal a produção de ferro-gusa e aço e, ainda, ferro liga e silício metálico (ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA, 2012).

A siderurgia a carvão vegetal no país compreende as grandes siderúrgicas integradas produtoras de aço sob diversas formas, que dispõem de sua própria base florestal de *Eucalyptus* com o qual produzem o carvão vegetal para a redução do minério de ferro e as siderúrgicas independentes, produtoras de ferro-gusa (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS, 2012). No entanto, a formação de florestas para a produção de carvão vegetal envolve a seleção de material genético superior e a adoção de técnicas silviculturais, aliando a produtividade das florestas à qualidade desejada da madeira para fins energéticos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS, 2010).

Segundo Duboc et al. (2007), a quase totalidade da produção de carvão vegetal no Brasil destina-se ao consumo interno, estimulado pela produção siderúrgica com pequeno volume de exportação. Nos últimos anos, o mercado de carvão vegetal sofreu impactos da crise financeira internacional, principalmente em decorrência da queda da demanda de ferro-gusa pela indústria siderúrgica brasileira (SILVA et al., 2010).

Segundo Trugilho et al. (2001), um dos problemas relacionados à utilização do carvão vegetal nas indústrias siderúrgicas é sua alta variabilidade em qualidade, uma vez que o rendimento e a qualidade deste produto dependem da qualidade da madeira que lhe deu origem e das condições operacionais da carbonização. Essa variabilidade ocasiona grande desperdício de material, dificultando a operação dos altos fornos siderúrgicos.

Madeiras destinadas à produção de energia devem apresentar elevados valores de densidade básica, baixos teores de minerais e altos teores de lignina, além de fibras com parede celular mais espessa e de menor largura, garantindo, assim, alta qualidade e elevado rendimento dos carvões produzidos (TRUGILHO et al., 1997; TRUGILHO et al., 2001; FREDERICO, 2009; NEVES et al., 2011). Tais características são consideradas como sendo índices da qualidade da madeira para a produção de carvão vegetal.

A qualidade da madeira para a produção de carvão vegetal deve atender a estes índices de qualidade, quando é destinado à siderurgia, para atender a um conjunto de parâmetros de qualidade, como, por exemplo, altos teores de carbono fixo, acima de 75% e baixos teores de cinzas, abaixo de 1,5%, conforme descrito na norma PMQ 3-03 (SÃO PAULO, 2003).

Portanto, a qualidade e a quantidade do carvão vegetal produzido são influenciadas pela qualidade da madeira, ou seja, pelas características químicas, físicas e anatômicas, processo utilizado para a produção de carvão vegetal e mão de obra empregada no processo de produção.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Material biológico

Neste estudo foram analisadas 264 árvores com seis anos de idade de um clone híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (clone AEC 1528), plantado em um espaçamento de 3 m x 3 m. Este material é procedente da Empresa APERAM Bioenergia, situada no alto do Vale do Jequitinhonha, no município de Itamarandiba, Minas Gerais, com latitude 17° 51' 26'', longitude 42° 51' 32'', altitude média de 1.097 m, precipitação média anual de 1.081 mm e temperatura média de 20,1 °C. Foram avaliados três experimentos: com fertilização nitrogenada, fertilização fosfatada e um terceiro denominado de fertilização potencial. Os experimentos foram implantados em junho de 2005.

#### 3.2 Descrição dos experimentos

##### 3.2.1 Experimento 1 - fertilização nitrogenada

Neste experimento foram estudados cinco tratamentos em quatro blocos, nos quais foram amostradas duas árvores para cada tratamento, dentro de cada bloco, totalizando 40 árvores amostradas.

Antes do plantio, foram aplicados 500 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato natural de Araxá para todos os tratamentos, no sulco de plantio. Na adubação de plantio foram aplicados 130 g planta<sup>-1</sup> de NPK na formulação 04-26-16 mais 1% de Zn e 0,5% de Cu. Em junho de 2006, foram aplicados, como fonte de Ca e Mg, 2.000 kg ha<sup>-1</sup> de agrossilício e, como adubações de cobertura, foram realizadas três aplicações, em janeiro, março e dezembro de 2006. As dosagens aplicadas foram estipuladas de acordo com cada tratamento, tendo sido utilizados 210 kg

ha<sup>-1</sup> de NPK na formulação de 00-00-56 mais 0,5% de B para o tratamento 1 e a mesma formulação de NPK mais 150 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de amônio para o tratamento 2, 3 e 4. As mesmas dosagens foram utilizadas na adubação feita em dezembro de 2006, sendo aplicados 150 kg ha<sup>-1</sup> a mais de sulfato de amônio para o tratamento 3; 90 kg ha<sup>-1</sup> de nitrato de amônio para o tratamento 4 e 750 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de amônio para o tratamento 5. Em março de 2006, foram aplicados 150 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de amônio para o tratamento 3. Para o tratamento 4, foram aplicados 90 kg ha<sup>-1</sup> de nitrato de amônio e, para o tratamento 5, foram aplicados 300 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de amônio. Os tratamentos consistiram da aplicação de 0, 60, 120 e 240 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, como sulfato de amônio, porém, com o objetivo de avaliar se a resposta ao sulfato de amônio era exclusivamente devido ao nitrogênio, foi aplicado um tratamento adicional com a aplicação de 120 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio como nitrato de amônio, totalizando cinco tratamentos. As fontes, as doses, as épocas de aplicação e as dosagens de cada elemento químico são apresentadas nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 Detalhamento do experimento com fertilização nitrogenada

Tratamentos	Fonte	Fosfatagem	Adubação de plantio	Fonte de Ca e Mg	Adubações de cobertura		
					Jun/05	Jun/06	Jan/06
1	sulfato de amônio	500 kg ha <sup>-1</sup> de fosfato natural de Araxá	130 g planta <sup>-1</sup> de 04-26-16 + 1% Zn+0,5% Cu	2000 kg ha <sup>-1</sup> de agrossilício	210 kg ha <sup>-1</sup> de 00-00-56 + 0,5% B	-	210 kg ha <sup>-1</sup> de 00-00-56 + 0,5% B
2 - 60 kg ha <sup>-1</sup> de N	sulfato de amônio	500 kg ha <sup>-1</sup> de fosfato natural de Araxá	130 g planta <sup>-1</sup> de 04-26-16 + 1% Zn + 0,5% Cu	2000 kg ha <sup>-1</sup> de agrossilício	210 kg ha <sup>-1</sup> de 00-00-56 + 0,5% B 150 kg ha <sup>-1</sup> de sulfato de amônio	-	210 kg ha <sup>-1</sup> de 00-00-56 + 0,5% B 150 kg ha <sup>-1</sup> de sulfato de amônio
3 - 120 kg ha <sup>-1</sup> de N	sulfato de amônio	500 kg ha <sup>-1</sup> de fosfato natural de Araxá	130 g planta <sup>-1</sup> de 04-26-16 +1% Zn + 0,5% Cu	2000 kg ha <sup>-1</sup> de agrossilício	210 kg ha <sup>-1</sup> de 00-00-56 + 0,5% B 150 kg ha <sup>-1</sup> de sulfato de amônio	150 kg ha <sup>-1</sup> de Sulfato de Amônio	210 kg ha <sup>-1</sup> de 00-00-56 + 0,5% B 300 kg ha <sup>-1</sup> de sulfato de amônio
4 - 120 kg ha <sup>-1</sup> de N	nitrito de amônio	500 kg ha <sup>-1</sup> de fosfato natural de Araxá	130 g planta <sup>-1</sup> de 04-26-16+1% Zn + 0,5% Cu	2000 kg ha <sup>-1</sup> de agrossilício	210 kg ha <sup>-1</sup> de 00-00-56 + 0,5% B, 90 kg ha <sup>-1</sup> de nitrito de amônio	90 kg ha <sup>-1</sup> de Sulfato de Amônio	210 kg ha <sup>-1</sup> de 00-00-56-0,5% B + 180 kg ha <sup>-1</sup> de nitrito de amônio
5 - 240 kg ha <sup>-1</sup> de N	sulfato de amônio	500 kg ha <sup>-1</sup> e fosfato natural de Araxá	130 g planta <sup>-1</sup> de 04-26-16 + 1% Zn+0,5% Cu	2000 kg ha <sup>-1</sup> e agrossilício	210 kg ha <sup>-1</sup> de 00-00-56 + 0,5% B 150 kg ha <sup>-1</sup> de sulfato de amônio	300 kg ha <sup>-1</sup> de sulfato de amônio	210 kg ha <sup>-1</sup> de 00-00-56-0,5% B 750 kg ha <sup>-1</sup> de sulfato de amônio



Tabela 2 Quantidade total de nutrientes aplicados nos diferentes tratamentos do experimento com fertilização nitrogenada

Tratamentos	Dosagens dos nutrientes (kg ha <sup>-1</sup> )								
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Total	N	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	Cu	Zn	B	S
1	224,36	5,72	258,08	900,00	360,00	0,72	1,43	2,10	0,00
2	224,36	125,72	258,08	900,00	360,00	0,72	1,43	2,10	72,00
3	224,36	245,72	258,08	900,00	360,00	0,72	1,43	2,10	288,00
4	224,36	244,52	258,08	900,00	360,00	0,72	1,43	2,10	0,00
5	224,36	485,72	258,08	900,00	360,00	0,72	1,43	2,10	576,00

### 3.2.2 Experimento 2 - fertilização fosfatada

Neste experimento foram estudados nove tratamentos em quatro blocos, sendo amostradas duas árvores por tratamento dentro de cada bloco. Em novembro de 2008, foi realizada uma nutrição complementar em 50% da área dos blocos (Tabelas 5 e 6). Dessa forma, optou-se por fazer a avaliação e estudar os nove tratamentos, considerando somente a adubação de plantio (metade da área dos blocos), os nove tratamentos com a adubação inicial somada à fertilização complementar e uma análise conjunta das fertilizações inicial e complementar, o que totalizou-se 144 árvores amostradas.

Foram aplicados, antes do plantio, como fonte de Ca e Mg, 2.000 kg ha<sup>-1</sup> de agrossilício. Aos 12 meses após o plantio, para os tratamentos de 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 e, para os tratamentos 8 e 9, foram aplicados 1.000 kg ha<sup>-1</sup> de agrossilício, no momento do plantio, mais 1.000 kg ha<sup>-1</sup>, aos 12 meses após o plantio.

Na adubação de plantio foram aplicados 130 g planta<sup>-1</sup> de NPK na formulação de 04-26-16 mais 0,5% de Cu e 1,0% de Zn, para todos os tratamentos. Como fosfatagem, foram utilizados 500 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato natural de Araxá para os tratamentos 1, 6 e 8. Para o tratamento 2, foram aplicados 600 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato simples; para os tratamentos 3, 7 e 9, 280 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato triplo; para o tratamento 4, 860 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato residual (RLT<sub>2</sub>) e, para o tratamento 5, 400 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato natural reativo.

As adubações de cobertura foram realizadas em dezembro de 2005 e em dezembro de 2006. Foram aplicados 210 kg ha<sup>-1</sup> de NPK na formulação de 00-00-56, mais 0,5% de B, para os tratamentos 1, 2, 3, 4, 5 e 8, em dezembro de 2005 e 210 kg ha<sup>-1</sup> de NPK, na formulação de 00-00-56, mais 0,5% de B mais 200 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de amônio, para os tratamentos 6 e 7. Em dezembro de 2006, foi aplicada a mesma quantidade de NPK, mais 0,5% de B, para todos os tratamentos e 400 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de amônio, para os tratamentos 6, 7 e 9.

As fontes, as doses e as épocas de aplicação dos fertilizantes utilizadas no início do plantio e as dosagens dos nutrientes estão descritas nas Tabelas 3 e 4.

A descrição e as dosagens dos nutrientes da adubação complementar estão descritas nas Tabelas 5 e 6 e a descrição das quantidades de macronutrientes e micronutrientes após a adubação complementar, na Tabela 7.

Na Tabela 8 apresentam-se as dosagens médias, inicial e acrescida com a adubação complementar, obtidas pelo agrupamento das dosagens similares de fósforo, compostas pelos tratamentos das Tabelas 4 e 7, respectivamente.

Tabela 3 Detalhamento do experimento com fertilização fosfatada

Tratamentos	Fonte de Ca e Mg	Adubação de plantio	Fosfatagem	Adubações de cobertura	
				Dez/05	Dez/06
1	2000 kg ha <sup>-1</sup> de agrossilício aos 12 meses após plantio	130 g planta <sup>-1</sup> de 04-26-16 + 0,5% Cu + 1,0% Zn	500 kg ha <sup>-1</sup> de fosfato natural de Araxá	210 g ha <sup>-1</sup> de 00-00-56 + 0,5% B	210 kg ha <sup>-1</sup> de 00-00-56 + 0,5% B
2	2000 kg ha <sup>-1</sup> de agrossilício aos 12 meses após plantio	130 g planta <sup>-1</sup> de 04-26-16 + 0,5% Cu + 1,0% Zn	600 kg ha <sup>-1</sup> de superfosfato simples	210 kg ha <sup>-1</sup> de 00-00-56 + 0,5% B	210 kg ha <sup>-1</sup> de 00-00-56 + 0,5% B
3	2000 kg ha <sup>-1</sup> de agrossilício aos 12 meses após plantio	130 g planta <sup>-1</sup> de 04-26-16 + 0,5% Cu + 1,0% Zn	280 kg ha <sup>-1</sup> de superfosfato triplo	210 kg ha <sup>-1</sup> de 00-00-56 + 0,5% B	210 kg ha <sup>-1</sup> de 00-00-56 + 0,5% B
4	2000 kg ha <sup>-1</sup> de agrossilício aos 12 meses após plantio	130 g planta <sup>-1</sup> de 04-26-16 + 0,5% Cu + 1,0% Zn	860 kg ha <sup>-1</sup> de fosfato residual (RLT <sub>2</sub> )	210 kg ha <sup>-1</sup> de 00-00-56 + 0,5% B	210 kg ha <sup>-1</sup> de 00-00-56 + 0,5% B
5	2000 kg ha <sup>-1</sup> de agrossilício aos 12 meses após plantio	130 g planta <sup>-1</sup> de 04-26-16 + 0,5% Cu + 1,0% Zn	400 kg ha <sup>-1</sup> de fosfato natural reativo	210 kg ha <sup>-1</sup> de 00-00-56 + 0,5% B	210 kg ha <sup>-1</sup> de 00-00-56 + 0,5% B
6	2000 kg ha <sup>-1</sup> agrossilício aos 12 meses após plantio	130 g planta <sup>-1</sup> de 04-26-16 + 0,5% Cu + 1,0% Zn	500 kg ha <sup>-1</sup> de fosfato natural de Araxá	210 kg ha <sup>-1</sup> de 00-00-56 + 0,5% B + 200 kg ha <sup>-1</sup> de sulfato de amônio	210 kg ha <sup>-1</sup> de 00-00-56 + 0,5% B + 400 kg ha <sup>-1</sup> de sulfato de amônio
7	2000 kg ha <sup>-1</sup> de agrossilício aos 12 meses após plantio	130 g planta <sup>-1</sup> de 04-26-16 + 0,5% Cu + 1,0% Zn	280 kg ha <sup>-1</sup> de superfosfato triplo	210 kg ha <sup>-1</sup> de 00-00-56 + 0,5% B + 200 kg ha <sup>-1</sup> de sulfato de amônio	210 kg ha <sup>-1</sup> de 00-00-56 + 0,5% B + 400 kg ha <sup>-1</sup> de sulfato de amônio
8	1000 kg ha <sup>-1</sup> de agrossilício no momento do plantio + 1000 kg ha <sup>-1</sup> aos 12 meses de plantio	130 g planta <sup>-1</sup> de 04-26-16 + 0,5% Cu + 1,0% Zn	500 kg ha <sup>-1</sup> de fosfato natural de Araxá	210 kg ha <sup>-1</sup> de 00-00-56 + 0,5% B	210 kg ha <sup>-1</sup> de 00-00-56 + 0,5% B
9	1000 kg ha <sup>-1</sup> de agrossilício no momento do plantio + 1000 kg ha <sup>-1</sup> aos 12 meses de plantio	130 g planta <sup>-1</sup> de 04-26-16 + 0,5% Cu + 1,0% Zn	280 kg ha <sup>-1</sup> de superfosfato triplo	210 kg ha <sup>-1</sup> de 00-00-56 + 0,5% B + 200 kg ha <sup>-1</sup> de sulfato de amônio	210 kg ha <sup>-1</sup> de 00-00-56 + 0,5% B + 400 kg ha <sup>-1</sup> de sulfato de amônio

Tabela 4 Quantidade total de nutrientes aplicados nos diferentes tratamentos do experimento com fertilização fosfatada

Tratamentos	Dosagens dos nutrientes (kg ha <sup>-1</sup> )								
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total	N	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	Cu	Zn	B	S
1	224,36	5,72	258,08	900,00	360,00	0,72	1,43	2,10	0,00
2	224,36	5,72	258,08	920,00	360,00	0,72	1,43	2,10	0,00
3	163,18	5,72	258,08	842,00	360,00	0,72	1,43	2,10	0,00
4	349,56	5,72	258,08	800,00	360,00	0,72	1,43	2,10	0,00
5	163,18	5,72	258,08	800,00	360,00	0,72	1,43	2,10	0,00
6	224,36	125,72	258,08	900,00	360,00	0,72	1,43	2,10	144,00
7	163,18	125,72	258,08	842,00	360,00	0,72	1,43	2,10	144,00
8	224,36	5,72	258,08	900,00	360,00	0,72	1,43	2,10	0,00
9	163,18	125,72	258,08	842,00	360,00	0,72	1,43	2,10	144,00

Tabela 5 Fertilização complementar, realizada em novembro de 2008, em 50% da área dos blocos

<b>Novembro de 2008 adubação em 50 % da área dos tratamentos</b>
Óxido de magnésio - <b>300 kg ha<sup>-1</sup></b>
N P K (15-00-25) + 0,4% de B - <b>400 kg ha<sup>-1</sup></b>
MAP (10.52.00) + 0,5% de Cu + 0,5 % de Zn - <b>100 kg ha<sup>-1</sup></b>

Tabela 6 Quantidade total de nutrientes aplicados na adubação complementar para os experimentos 2 e 3

Fonte	Dosagens dos nutrientes (kg ha <sup>-1</sup> )								
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> solúvel	N	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	Cu	Zn	B	S
Gesso	0,00	0,00	0,00	200,00	0,00	0,00	0,00	0,00	160,00
Óxido de magnésio	0,00	0,00	0,00	0,00	120,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NPK (15-00-25)	0,00	60,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,60	0,00
MAP (10-52-00)	52,00	10,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,50	0,00	0,00

Tabela 7 Quantidade total de nutrientes aplicados na adubação de plantio, somada à fertilização complementar, para o experimento com fertilização fosfatada

Tratamentos	Dosagens dos nutrientes (kg ha <sup>-1</sup> )								
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total	N	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	Cu	Zn	B	S
1	276,36	75,72	358,08	1100,00	480,00	1,22	1,93	3,70	160,00
2	276,36	75,72	358,08	1120,00	480,00	1,22	1,93	3,70	160,00
3	215,18	75,72	358,08	1042,00	480,00	1,22	1,93	3,70	160,00
4	401,56	75,72	358,08	1000,00	480,00	1,22	1,93	3,70	160,00
5	215,18	75,72	358,08	1000,00	480,00	1,22	1,93	3,70	160,00
6	276,36	195,72	358,08	1100,00	480,00	1,22	1,93	3,70	304,00
7	215,18	195,72	358,08	1042,00	480,00	1,22	1,93	3,70	304,00
8	276,36	75,72	358,08	1100,00	480,00	1,22	1,93	3,70	160,00
9	215,18	195,72	358,08	1042,00	480,00	1,22	1,93	3,70	304,00

Tabela 8 Relação das dosagens de fósforo, inicial e acrescidas da adubação complementar, para cada tratamento

Tratamentos	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	Tratamentos	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )
1	163,18	1	215,18
2	224,36	2	276,36
3	349,56	3	401,56

Tratamento 1: refere-se às médias obtidas do tratamento 3, 5, 7 e 9

Tratamento 2: refere-se às médias obtidas do tratamento 1, 2, 6 e 8

Tratamento 3: refere-se às médias obtidas do tratamento 4

### 3.2.3 Experimento 3 - fertilização potencial

Neste experimento foram estudados cinco tratamentos em quatro blocos, sendo amostradas duas árvores por tratamento dentro de cada bloco. Em novembro de 2008, foi realizada uma nutrição complementar em 50% da área dos blocos (Tabelas 5 e 6). Dessa forma, optou-se por fazer a avaliação e estudar os cinco tratamentos, considerando somente a adubação de plantio (metade da área dos blocos), os cinco tratamentos com a adubação inicial somada à fertilização complementar e uma análise conjunta das fertilizações inicial e complementar, o que totalizou 80 árvores amostradas.

Antes do plantio, foram aplicados 500 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato natural de Araxá, para os tratamentos 1, 3 e 5 e 350 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato simples mais 0,5% de Cu e 1% de Zn, para os tratamentos 2 e 4, no sulco de plantio. Na adubação de plantio foram aplicados 130 g planta<sup>-1</sup> de NPK, na formulação de 04-26-16 mais 0,5% de Cu e 1% de Zn, para o tratamento 1, 3 e 5 e 180 g planta<sup>-1</sup> de NPK na formulação de 06-30-06, para os tratamentos 2 e 4. Como fonte de Ca e Mg foram aplicados 2.000 kg ha<sup>-1</sup> de agrossilício, aos 12 meses após o plantio, para os tratamentos 1, 3 e 5 e 3.000 kg ha<sup>-1</sup> de agrossilício imediatamente após o plantio, para os tratamentos 2 e 4. As adubações de cobertura para este experimento foram aplicadas em dezembro de 2005, março de 2006 e dezembro de 2006.



Foram aplicados 210 kg ha<sup>-1</sup> de NPK na formulação de 00-00-56 mais 0,5% de B, em dezembro de 2005 e as mesmas dosagens, em dezembro de 2006, para os tratamentos 1 e 4. Para os tratamentos 2 e 3, foram aplicados 200 kg ha<sup>-1</sup> de NPK na formulação de 18-00-18 mais 7% de S e 0,5% de B. Para o tratamento 5, foram aplicados 100 kg ha<sup>-1</sup> de NPK, na formulação de 18-00-18 mais 7% de S e 0,5% de B.

Em março de 2006, não houve nenhuma aplicação para os tratamentos 1 e 4. Para os tratamentos 2 e 3, foram aplicados 250 kg ha<sup>-1</sup> de NPK, na formulação de 14-00-28 mais 4% de S e 0,5% de B e, para o tratamento 5, foram aplicados 125 kg ha<sup>-1</sup> de NPK na formulação de 14-00-28, mais 4% de S e 0,5% de B. Em dezembro de 2006, foram aplicados 400 kg ha<sup>-1</sup> de NPK na formulação 10-00-30 mais 5% de S e B, para os tratamentos 2 e 3. Foram aplicados 200 kg ha<sup>-1</sup> de NPK na formulação de 10-00-30, mais 5% de S e 0,5% de B, somados a mais 210 kg ha<sup>-1</sup> de NPK na formulação 00-00-56 mais 0,5% de Ca e 0,5% de B para o tratamento 5. As fontes, as doses e as épocas de aplicação dos fertilizantes e a descrição das dosagens dos nutrientes estão descritas nas Tabelas 9, 10 e 11.

Tabela 9 Detalhamento do experimento com fertilização potencial

Tratamentos	Fosfatagem	Plantio	Fonte de Ca e Mg	Adubações de cobertura		
				Dez//05	Mar/06	Dez/06
1	500 kg ha <sup>-1</sup> de fosfato natural de Araxá	130 g planta <sup>-1</sup> de 04-26-16 + 1% Zn + 0,5% Cu	2000 kg ha <sup>-1</sup> de agrossilício aos 12 meses após o plantio	210 kg ha <sup>-1</sup> de 00-00-56 + 0,5% B	-	210 kg ha <sup>-1</sup> de 00-00-56 + 0,5% B
2	350 kg ha <sup>-1</sup> superfosfato simples + 0,5% de Cu + 1,0% de Zn	130 g planta <sup>-1</sup> de 04-26-16 + 1% Zn + 0,5% Cu	3000 kg ha <sup>-1</sup> de agrossilício imediatamente após o plantio	200 kg ha <sup>-1</sup> de 18-00-18 + 7% + 0,5% B	250 kg ha <sup>-1</sup> de 14-00-28 + 4% S + 0,5% B	400 kg ha <sup>-1</sup> de 10-00-30 + 0,5% S + 0,5 B
3	500 kg ha <sup>-1</sup> de fosfato natural de Araxá	130 g planta <sup>-1</sup> de 04-26-16 + 1% Zn + 0,5% Cu	2000 kg ha <sup>-1</sup> de agrossilício aos 12 meses após o plantio	200 kg ha <sup>-1</sup> de 18-00-18 + 7% + 0,5% B	250 kg ha <sup>-1</sup> de 14-00-28 + 4% S + 0,5% B	400 kg ha <sup>-1</sup> de 10-00-30 + 0,5% S + 0,5 B
4	350 kg ha <sup>-1</sup> superfosfato simples + 0,5% de Cu + 1,0% de Zn	130 g planta <sup>-1</sup> de 04-26-16 + 1% Zn + 0,5% Cu	3000 kg ha <sup>-1</sup> de agrossilício imediatamente após o plantio	210 kg ha <sup>-1</sup> de 00-00-56 + 0,5% B	-	210 kg ha <sup>-1</sup> de 00-00-56 + 0,5% B
5	500 kg ha <sup>-1</sup> de fosfato natural de Araxá	130 g planta <sup>-1</sup> de 04-26-16 + 1% Zn + 0,5% Cu	2000 kg ha <sup>-1</sup> de agrossilício aos 12 meses após o plantio	100 kg ha <sup>-1</sup> de 14-00-28 + 7% + 0,5% B	125 kg ha <sup>-1</sup> de 14-00-28 + 4% S + 0,5% B	200 kg ha <sup>-1</sup> de 10-00-30 + 0,5% S + 0,5% B + 210 kg ha <sup>-1</sup> de 00-00-56 + 0,5% B

Tabela 10 Quantidade total de nutrientes aplicados nos diferentes tratamentos do experimento com fertilização potencial

Tratamentos	Dosagens dos nutrientes (kg ha <sup>-1</sup> )								
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Total	N	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	Cu	Zn	B	S
1	224,36	5,72	258,08	900,00	360,00	0,72	1,43	2,10	0,00
2	129,40	122,88	237,88	1252,50	540,00	1,75	3,50	4,25	281,00
3	224,36	116,72	248,88	900,00	360,00	0,72	1,43	4,25	44,00
4	129,40	11,88	247,08	1252,50	540,00	1,75	3,50	2,10	70,00
5	224,36	61,22	135,88	900,00	360,00	0,72	1,43	3,17	22,00

Tabela 11 Quantidade total de nutrientes aplicados na adubação de plantio, somada à fertilização complementar, para o experimento com fertilização potencial

Tratamentos	Dosagens dos nutrientes (kg ha <sup>-1</sup> )								
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Total	N	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	Cu	Zn	B	S
1	276,36	75,72	358,08	1100,00	480,00	1,22	1,93	3,70	160,00
2	181,40	192,88	337,88	1452,50	660,00	2,25	4,00	5,85	441,00
3	276,36	186,72	348,88	1100,00	480,00	1,22	1,93	5,85	204,00
4	181,40	81,88	347,08	1452,50	660,00	2,25	4,00	3,70	230,00
5	276,36	131,22	235,88	1100,00	480,00	1,22	1,93	4,77	182,00

### **3.3 Características de crescimento da árvore**

Para o conhecimento das características de crescimento da árvore, utilizaram-se os dados de inventário contínuo na área experimental da empresa APERAM Bioenergia.

### **3.4 Estimativa de massa seca da madeira**

A estimativa de massa seca (MS) da árvore foi determinada em função da densidade básica média (DBm) e o volume sem casca (VSC), conforme a seguinte equação:

$$MS = DBm \times VSC$$

### **3.5 Densidade básica da madeira**

Para a determinação da densidade básica da madeira, foi utilizado o procedimento descrito na norma NBR 11941 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003). A amostragem considerada foi a de retiradas de discos de 2,5 cm de espessura, em diferentes posições longitudinais, no fuste das árvores, ou seja, na base 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial (até o diâmetro mínimo de 5 cm). Os discos foram divididos em quatro cunhas, passando pela medula, sendo utilizadas duas opostas. Determinou-se a densidade básica média da árvore (DBm) como sendo a média aritmética dos pontos de amostragem longitudinal no tronco das árvores. Um disco extra foi retirado a 1,30 m de altura do solo (DAP).

### **3.6 Composição química da madeira**

As amostras para a análise química da madeira foram retiradas das outras duas cunhas opostas retiradas dos discos da amostragem, sendo formada uma amostra composta por todos os pontos longitudinais. Em seguida, este material foi moído e classificado em peneiras sobrepostas de 40 e 60 mesh, utilizando a fração que passou pela peneira de 40 e ficou retida na de 60 mesh.

Este material foi levado para a câmara de climatização com temperatura de  $20\pm 3$  °C e umidade relativa de  $65\pm 2\%$ , permanecendo nesta condição por, aproximadamente, 15 dias para a homogeneização da umidade. Foram determinados os teores de extrativos totais de acordo com as Normas M3/89 e o teor de cinzas, pela Norma M 11/77 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL, 1974). O teor de lignina insolúvel (Klason) foi obtido de acordo com a metodologia proposta por Gomide e Demuner (1986) e o teor de lignina solúvel (Klason) em ácido sulfúrico foi determinado de acordo com a metodologia proposta por Goldschimid (1971). O teor de lignina total foi obtido pelo somatório dos teores de lignina solúvel e insolúvel.

### **3.7 Dimensões das fibras da madeira**

As amostras utilizadas nesta análise foram retiradas das cunhas à altura de 1,30 m do solo (DAP). Foi utilizada uma árvore por tratamento e bloco. Foram retirados pequenos palitos finos e os mesmos colocados em um frasco de vidro com solução de peróxido de hidrogênio e ácido acético (1:1). Os frascos foram tampados e levados à estufa, a 60 °C, por 24 horas. A metodologia utilizada seguiu o método de Franklin, modificado por Berlyn e Miksche (1976). O material dissociado foi corado com safranina a 1%, em álcool 50%. As lâminas semipermanentes contendo o material dissociado foram montadas em

solução aquosa de glicerina (1:1). Foram realizadas 50 medições para cada árvore, seguindo as recomendações do IAWA Committee (1989).

### **3.8 Composição química elementar da madeira**

As amostras utilizadas para a análise da composição química elementar foram as mesmas empregadas para a análise química da madeira, item 3.6, com uma granulometria mais fina, ou seja, utilizou-se a fração que passou pela peneira de 200 mesh e ficou retida na de 270 mesh. Inicialmente, as amostras foram secas em estufa, à temperatura de, aproximadamente,  $103\pm 2$  °C, para eliminar o efeito da umidade. Foram utilizados, aproximadamente, 2 mg deste material, utilizando-se uma cápsula de estanho. As análises foram realizadas em um analisador universal da marca Elementar modelo Vario Micro Cube, para a determinação dos teores de nitrogênio, carbono, hidrogênio, enxofre e, por diferença, o oxigênio presente na amostra. Os gases utilizados para a realização desta análise foram o hélio, para a operação de arraste e o oxigênio, para a ignição do material. A temperatura utilizada no tubo de combustão no interior do equipamento foi de, aproximadamente, 1.200 °C.

### **3.9 Poder calorífico superior da madeira**

As amostras utilizadas nesta análise foram as mesmas da análise química da madeira, item 3.6. O material utilizado para esta análise foi moído e peneirado, sendo utilizada a fração que ficou retida na peneira de 60 mesh. Em seguida, este material foi levado para a estufa, à temperatura de  $103\pm 2$  °C. O poder calorífico superior foi determinado em um calorímetro digital, modelo IKA C-200, conforme a Norma NBR 8633 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1984).

### **3.10 Carbonização da madeira**

As amostras utilizadas na carbonização da madeira foram retiradas das cunhas opostas, em todas as alturas da amostragem longitudinal, destinadas à análise química da madeira, item 3.6. Foi considerada uma amostra composta dos pontos de amostragem longitudinal e utilizada uma árvore por tratamento e bloco. As carbonizações foram realizadas em um forno elétrico (mufla), adaptado para esta atividade. Nas carbonizações foram utilizados, aproximadamente, 500 g de material previamente seco em estufa à temperatura de  $103 \pm 2$  °C. A temperatura inicial para as carbonizações foi de 100 °C e a temperatura final, de 450 °C, permanecendo por um período de 30 minutos. Foi considerada uma taxa de aquecimento de 1,67 °C/min. (BOTREL et al., 2007; TRUGILHO et al., 2001; TRUGILHO et al., 2005). Após as carbonizações, foram avaliados os rendimentos gravimétricos em carvão vegetal, em líquido pirolenhoso condensado e em gases não condensáveis.

### **3.11 Densidade relativa aparente do carvão vegetal**

A densidade relativa aparente do carvão vegetal foi determinada de acordo com o método hidrostático, por meio de imersão em água, conforme descrito por Vital (1984).

### **3.12 Análise química imediata do carvão vegetal**

Foi realizada a análise química imediata dos carvões produzidos, visando à determinação dos teores de materiais voláteis, cinzas e, por diferença, o teor de carbono fixo, conforme procedimento estabelecido na norma NBR 8112 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1983).

### **3.13 Poder calorífico superior do carvão vegetal**

As amostras utilizadas nesta análise foram as mesmas da carbonização, item 3.10. O material utilizado para esta análise foi moído e classificado, sendo utilizada a fração que ficou retida na peneira de 60 mesh. Em seguida, este material foi levado para a estufa, à temperatura de  $103 \pm 2$  °C. O poder calorífico superior foi determinado em um calorímetro digital modelo IKA C-200, conforme a Norma NBR 8633 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1984).

### **3.14 Delineamento estatístico adotado**

Na avaliação dos experimentos, foi adotado o delineamento experimental em blocos casualizados com quatro repetições. Foi usado um teste de comparação múltipla das médias dos tratamentos, para os efeitos qualitativos e a análise de regressão linear, para os efeitos quantitativos.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 EXPERIMENTO 1: fertilização nitrogenada

#### 4.1.1 Características de crescimento, densidade básica e estimativa de massa seca

Na Tabela 1A (ANEXO A) encontra-se o resumo da análise de variância realizada para as características de crescimento da árvore, densidade básica e estimativa de massa seca da madeira de um clone híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. Observa-se que somente para a característica densidade básica média da madeira o efeito de tratamento foi não significativo, a 5% de probabilidade. Este resultado indica que a fertilização nitrogenada adotada somente não afetou significativamente a densidade básica da madeira. Verificase também que os coeficientes de variação experimental encontrados foram baixos, o que atesta a eficiência da coleta de dados, bem como do delineamento experimental adotado (FALCONER, 1987).

Na Tabela 12 encontram-se os valores médios e o teste de comparação múltipla para as variáveis analisadas. Verifica-se que o comportamento dos tratamentos foi idêntico para as características de crescimento, ou seja, o tratamento 1 foi o que apresentou os menores valores médios, sendo igual, estatisticamente, ao tratamento 4. Para a estimativa de massa seca, o tratamento 1 foi diferente dos demais, sendo um reflexo do menor volume e da densidade básica média da madeira.

Considerando os efeitos das doses de nitrogênio (N) e enxofre (S), aplicados na forma de nitrato de amônio e sulfato de amônio nas características de crescimento da árvore, verificou-se uma tendência de comportamento quadrático.

Estudando a natureza das funções ajustadas, observou-se que todas foram negativas definidas, ou seja, possuem ponto de máximo.

Tabela 12 Valores médios e o teste de comparação múltipla para o DAP, volume com casca, volume sem casca, densidade básica média e estimativa de massa seca da madeira

Tratamentos	Características				
	DAP	VCC	VSC	DBm	MS
1	15,49 a	209,10 a	201,65 a	0,471 a	95,11 a
2	16,29 b	241,58 b	234,25 b	0,485 a	113,56 b
3	16,68 b	255,96 b	248,56 b	0,481 a	119,68 b
4	16,20 ab	236,59 ab	229,40 ab	0,479 a	109,89 b
5	16,42 b	246,47 b	238,71 b	0,479 a	114,39 b

DAP: diâmetro à altura do peito (cm); VCC: volume com casca ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ); VSC: volume sem casca ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ); DBm: densidade básica média ( $\text{g cm}^{-3}$ ); MS: estimativa de massa seca ( $\text{t ha}^{-1}$ ). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Na Tabela 13 apresentam-se os valores dos pontos críticos obtidos das funções quadráticas ajustadas para as características de crescimento e massa seca, enquanto nas Figuras 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8 mostra-se a tendência observada das doses de N e S nestas características. Verifica-se que o ajuste das equações foi melhor para as doses de S, entretanto, as respostas das características analisadas foram maiores que os valores médios dos tratamentos (Tabela 12), especialmente para o DAP e a MS, o que pode indicar que as equações ajustadas não representam bem o fenômeno em estudo.

Tabela 13 Pontos críticos obtidos das funções quadráticas ajustadas

CARACTERÍSTICAS	N (kg ha <sup>-1</sup> )	RESPOSTA	S (kg ha <sup>-1</sup> )	RESPOSTA
DAP	349,50	16,60	343,35	16,72
VCC	348,25	258,41	356,00	254,39
VSC	345,08	239,58	353,90	247,18
MS	338,49	117,27	347,74	126,36

DAP: diâmetro à altura do peito (cm); VCC: volume com casca (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>); VSC: volume sem casca (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>); DBm: densidade básica média (g cm<sup>-3</sup>); MS: massa seca (t ha<sup>-1</sup>)

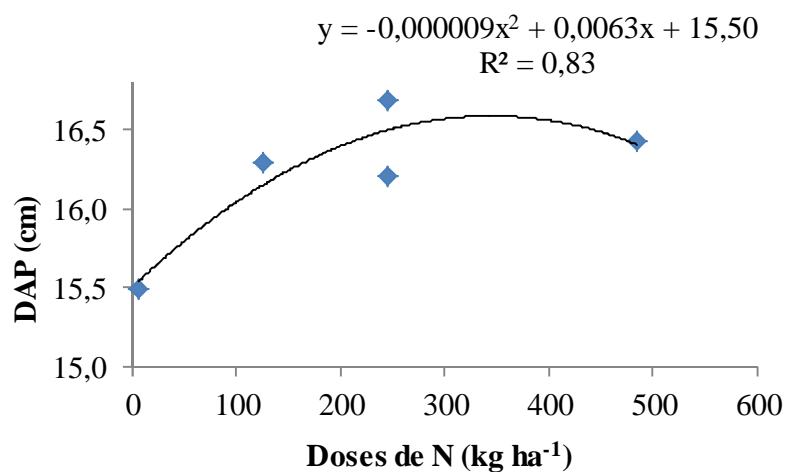


Figura 1 DAP do clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, aos seis anos de idade, em função da aplicação das doses de nitrogênio

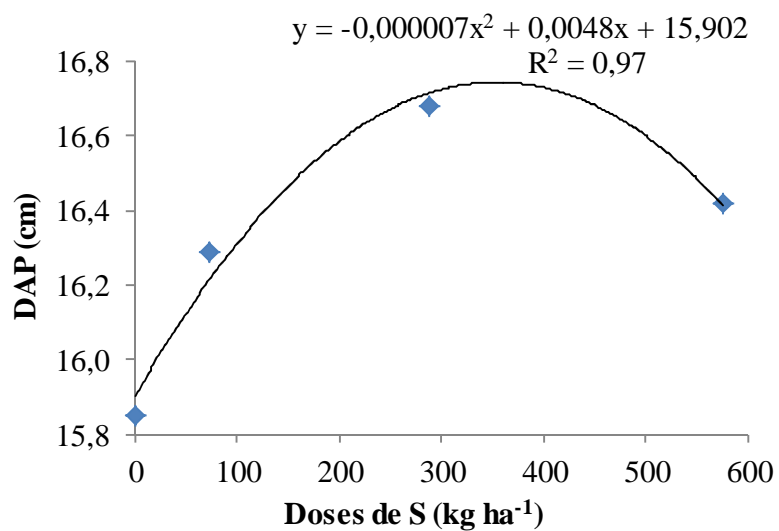


Figura 2 DAP do clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, aos seis anos de idade, em função da aplicação das doses de enxofre

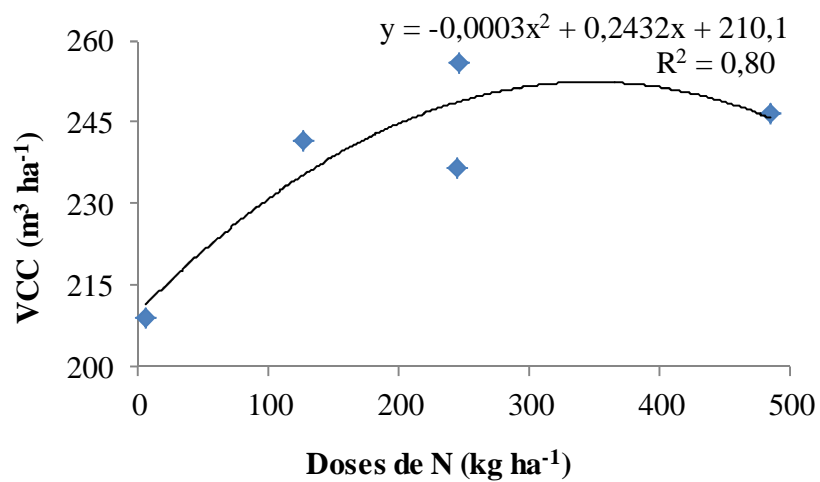


Figura 3 Volume com casca do clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, aos seis anos de idade, em função da aplicação das doses de nitrogênio

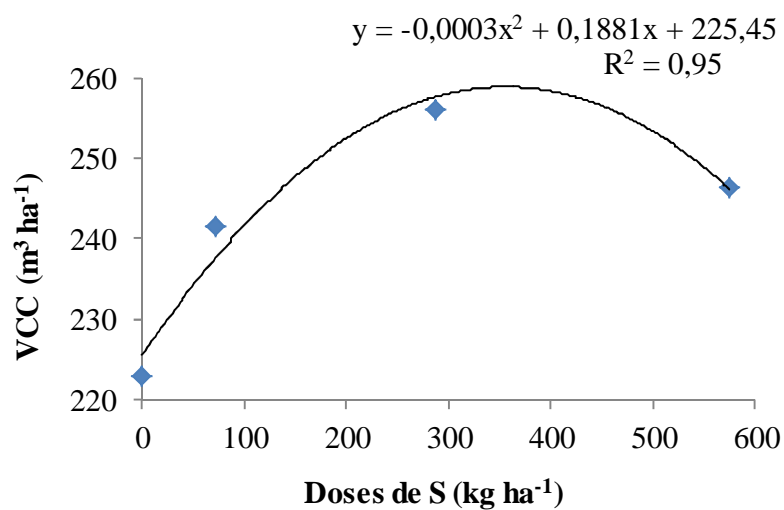


Figura 4 Volume com casca do clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, aos seis anos de idade, em função das doses de enxofre

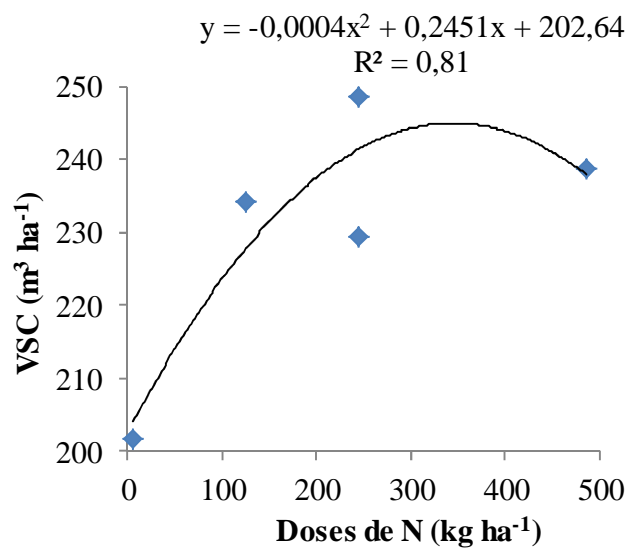


Figura 5 Volume sem casca do clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, aos seis anos de idade, em função das doses de nitrogênio

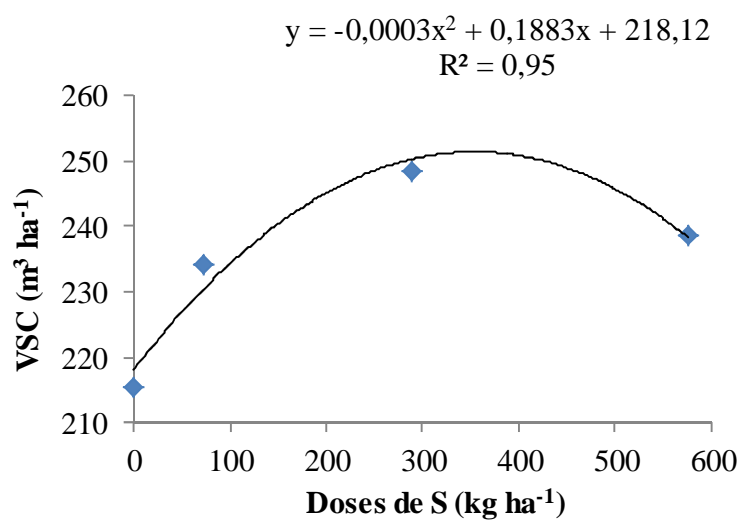


Figura 6 Volume sem casca do clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, aos seis anos de idade, em função das doses de enxofre

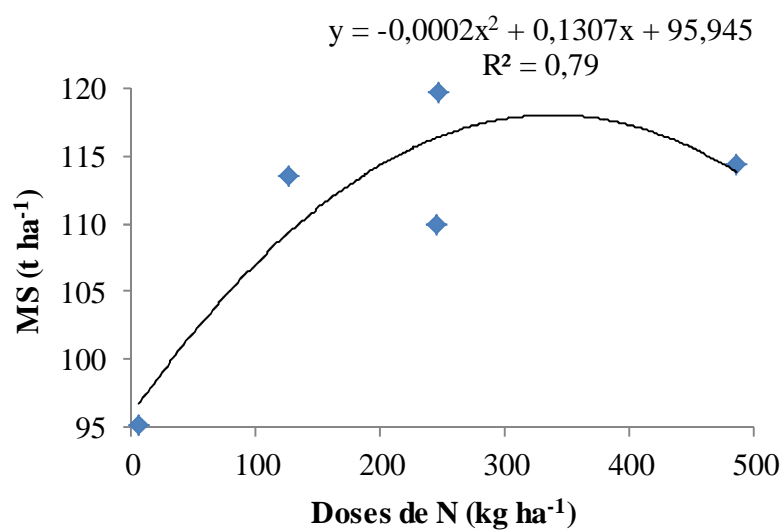


Figura 7 Massa seca do clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, aos seis anos de idade, em função das doses de nitrogênio

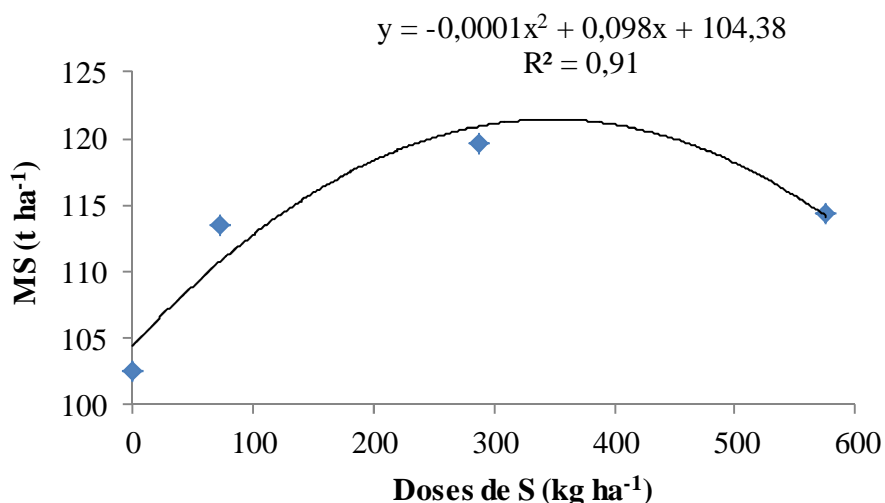


Figura 8 Massa seca do clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, aos seis anos de idade, em função das doses de enxofre

Pelas Figuras 1, 3, 5 e 7 e pelos dados da Tabela 13 pode-se observar que a dose estimada de N foi bem semelhante à utilizada nos tratamentos 3 e 4, entretanto, o tratamento 3 apresentou valores médios (Tabela 12) bem similares aos das respostas estimadas nos pontos críticos das equações ajustadas (Tabela 13). Deve-se levar em consideração que o tratamento 3 apresenta como diferencial uma dose elevada de S e que esta pode ter contribuído também para o melhor crescimento das plantas neste tratamento. Dessa forma, este tratamento pode ser o mais indicado para se estabelecer uma dose adequada de N e S, especificamente para este material genético.

Araújo et al. (2003) verificaram que o fornecimento de N até 486 kg ha<sup>-1</sup> (primeira cobertura com ureia e a segunda e terceira com sulfato de amônio), proporcionou ganho linear no crescimento de clones de *Eucalyptus* em espodossolos na região sul da Bahia. Em avaliação feita aos 24 meses de idade, estes mesmos autores relataram incremento de até 109% no crescimento em

relação à testemunha. Entretanto, estes autores não avaliaram o efeito simultâneo do S.

Os resultados também estão de acordo com Silva et al. (2003), ao analisarem clones híbridos de *Eucalyptus* aos 36 meses de idade, com a aplicação de até 320 kg ha<sup>-1</sup> de N (30% na forma de nitrato de amônio e 70% na forma de sulfato de amônio). Apesar da não aplicação de S, estes autores observaram um incremento linear, atingindo ganhos de até 44% em relação à testemunha.

No Brasil, a demanda de N por eucalipto à idade de 4,5 anos varia de 150 a 327 kg ha<sup>-1</sup> (SANTANA et al., 2008), com valores mais baixos em solos arenosos. Assim, respostas à aplicação de N podem ser esperadas em solos com teores mais baixos de matéria orgânica, geralmente arenosos, como os solos dos estudos de Silva et al. (2003) e Araújo et al. (2003) ou, ainda, em locais nos quais as condições climáticas não favorecem a rápida decomposição da matéria orgânica (JESUS et al., 2012).

#### **4.1.2 Avaliação das características químicas e energéticas da madeira**

Na Tabela 2A (ANEXO A) encontra-se o resumo da análise de variância realizada para os teores de extrativos totais, lignina total, cinzas e poder calorífico da madeira. Verifica-se que as dosagens aplicadas nos tratamentos, tanto de sulfato de amônio como de nitrato de amônio, não apresentaram diferenças significativas para todas as variáveis analisadas, a 5% de probabilidade. Portanto, o efeito de tratamento não afetou significativamente nenhuma dessas características da madeira. Observa-se que foram encontrados baixos coeficientes de variação para estas características, com exceção do teor de cinzas, que apresentou elevado coeficiente de variação.

Na Tabela 14 estão os valores médios e o teste de comparação múltipla realizada para as características químicas e energéticas da madeira. Independente



das fontes utilizadas, tanto nitrato de amônio como sulfato de amônio e das diferenças das quantidades elevadas das dosagens aplicadas nos tratamentos, a fertilização não influenciou as características químicas e energéticas da madeira, mantendo-se praticamente estável para todos os tratamentos.

Os valores médios observados na Tabela 14 estão de acordo com os resultados encontrados nos trabalhos de Oliveira et al. (2012), Reis et al. (2012) e Neves et al. (2011), exceto para os teores de extrativos totais, que foram inferiores aos encontrados neste trabalho. Estes valores encontrados podem estar associados à nutrição aplicada, especialmente à do tratamento 3.

Tabela 14 Valores médios para os teores de extrativos totais, lignina total, cinzas e poder calorífico superior da madeira

Tratamentos	Características			
	TET	TLT	TCz	PCSm
1	9,56 a	32,93 a	0,29 a	4642 a
2	10,12 a	32,61 a	0,29 a	4690 a
3	10,60 a	34,18 a	0,34 a	4579 a
4	10,02 a	33,50 a	0,29 a	4681 a
5	10,38 a	32,78 a	0,28 a	4692 a

TET: teor de extrativos totais (%); TLT: teor de lignina total (%); TCz: teor de cinzas (%); PCSm: poder calorífico superior da madeira ( $\text{cal g}^{-1}$ ). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey

#### 4.1.3 Avaliação da composição química elementar da madeira

Na Tabela 3A (ANEXO A) encontra-se o resumo da análise de variância para a composição química elementar da madeira. Verifica-se também que a composição química elementar não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos, a 5% de probabilidade. Portanto, o efeito da fertilização aplicada

não influenciou nenhuma dessas características da madeira. Observa-se que estas características apresentaram baixos coeficientes de variação.

Na Tabela 15 estão discriminados os valores médios e o teste de comparação múltipla para as variáveis analisadas. Observa-se que os valores médios estão de acordo com os citados por Neves et al. (2011) e Reis et al. (2012), exceto para o teor de nitrogênio, que foi mais elevado. Este resultado deve estar relacionado à adubação nitrogenada utilizada no experimento. Entretanto, apesar da não diferença estatística, o tratamento 3 foi o que apresentou o menor valor para o teor de nitrogênio.

Para o uso energético, é desejável que a biomassa apresente menores teores de nitrogênio na sua composição. A presença de nitrogênio na composição da madeira resulta na formação de óxidos de nitrogênio após a combustão. Sendo assim, são desejáveis diminutas quantidades deste componente elementar na combustão e no processo de carbonização da madeira (KUMAR et al., 2010; BILGEN; KAYGUSUZ, 2008). Segundo Huang et al. (2009), o teor de nitrogênio não apresenta relação positiva com o poder calorífico superior da biomassa.

Tabela 15 Valores médios e o teste de comparação múltipla para os teores de nitrogênio, carbono, hidrogênio e oxigênio da madeira

Tratamentos	Características			
	N	C	H	O
1	0,79 a	46,90 a	6,15 a	46,16 a
2	0,82 a	46,58 a	6,05 a	46,55 a
3	0,71 a	47,16 a	6,36 a	45,77 a
4	0,80 a	47,08 a	6,11 a	46,01 a
5	0,78 a	49,37 a	5,71 a	44,14 a

N: nitrogênio (%); C: carbono (%); H: hidrogênio (%); O: oxigênio (%). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

#### 4.1.4 Avaliação das dimensões das fibras da madeira

Na Tabela 4A (ANEXO A) encontra-se o resumo da análise de variância realizada para as dimensões das fibras da madeira. Observa-se que o efeito da fertilização foi não significativo para todas as características analisadas, a 5% de probabilidade. Estas características também apresentaram baixos coeficientes de variação.

Na Tabela 16 estão apresentados os valores médios e o teste de comparação múltipla para as variáveis analisadas. Verifica-se que os maiores valores encontrados para estas características foram referentes ao tratamento 3; somente a espessura de fibra apresentou menor valor. Oliveira et al. (2012), estudando os parâmetros quantitativos da anatomia da madeira em diferentes locais, encontraram resultados similares aos deste trabalho. Estes resultados também foram semelhantes aos encontrados no trabalho de Lima et al. (2011).

Estes autores estudaram o efeito da fertilização nas dimensões celulares da madeira em uma população de *Eucalyptus grandis*, de 21 anos de idade, manejada pelo sistema de desbastes seletivos com aplicação de fertilizantes na época do início dos desbastes. Os mesmos autores concluíram que a fertilização não influenciou significativamente as dimensões celulares, o que está de acordo com o observado no presente estudo. Entretanto, as informações a respeito do efeito da fertilização nas características anatômicas das madeiras de *Eucalyptus* em idade mais avançada ainda são escassas (LIMA et al., 2011).

Tabela 16 Valores médios e teste de comparação múltipla para o comprimento da fibra, largura da fibra, diâmetro do lume e espessura da parede da fibra da madeira

Tratamentos	Características			
	Compf	Largf	Diâmlume	Espf
1	786,17 a	16,93 a	9,17 a	3,87 a
2	762,77 a	16,34 a	9,20 a	3,57 a
3	826,62 a	17,69 a	10,15 a	3,45 a
4	815,37 a	16,93 a	9,68 a	3,62 a
5	768,36 a	16,98 a	9,56 a	3,70 a

Compf: comprimento da fibra ( $\mu\text{m}$ ); Largf: largura da fibra ( $\mu\text{m}$ ); Diâmlume: diâmetro do lume ( $\mu\text{m}$ ); Espf: espessura da parede da fibra ( $\mu\text{m}$ ). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

#### 4.1.5 Avaliação dos rendimentos gravimétricos e da densidade relativa aparente do carvão vegetal

Na Tabela 5A (ANEXO A) encontra-se o resumo da análise de variância para o rendimento gravimétrico em carvão, líquido pirolenhoso e carbono fixo, e a densidade relativa aparente. Observa-se que, somente para a característica rendimento em líquido pirolenhoso, o efeito da fertilização foi significativo estatisticamente, a 5% de probabilidade. Para as outras características do carvão vegetal, o efeito da fertilização foi não significativo, ou seja, a fertilização aplicada não influenciou estatisticamente o rendimento gravimétrico em carvão e em carbono fixo, e a densidade relativa aparente do carvão. Observaram-se baixos coeficientes de variação para estas características.

Na Tabela 17 estão os valores médios e o teste de comparação múltipla para as características analisadas. Os valores encontrados neste estudo estão em conformidade como os obtidos por Neves et al. (2011), Oliveira et al. (2010) e Botrel et al. (2007). Apesar da não diferença estatística, observa-se que o tratamento 3 foi o que apresentou o maior valor médio de rendimento em carbono fixo, devido, provavelmente, ao maior teor de lignina na madeira.

Tabela 17 Valores médios e teste de comparação múltipla para o rendimento gravimétrico em carvão, líquido pirolenhoso, carbono fixo e densidade relativa aparente do carvão vegetal

Tratamentos	Características			
	RGC	RLP	RCF	DRA
1	34,67 a	44,97 a	24,93 a	0,385 a
2	33,97 a	48,47 ab	24,83 a	0,385 a
3	33,97 a	48,07 ab	25,25 a	0,365 a
4	34,24 a	50,00 b	25,00 a	0,404 a
5	34,31 a	46,79 ab	24,95 a	0,399 a

RGC: rendimento gravimétrico do carvão (%); RLP: rendimento em líquido pirolenhoso (%); RCF: rendimento em carbono fixo (%); DRA: densidade relativa aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ ). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

As Figuras 9 e 10 mostram a ocorrência de uma tendência de comportamento quadrático para o rendimento em líquido pirolenhoso em relação às doses de N e S, respectivamente. Derivando-se estas funções ajustadas, pode-se verificar que ambas são negativas definidas, portanto, apresentam ponto de máximo. Observa-se que, de acordo com a equação e para as condições experimentais, a aplicação da dose otimizada de  $274,21 \text{ kg ha}^{-1}$  de N proporcionará um rendimento máximo em líquido pirolenhoso de 49,04% (Figura 9), enquanto uma dose de  $260,00 \text{ kg ha}^{-1}$  de S proporcionará 48,43% para o rendimento em líquido pirolenhoso (Figura 10).

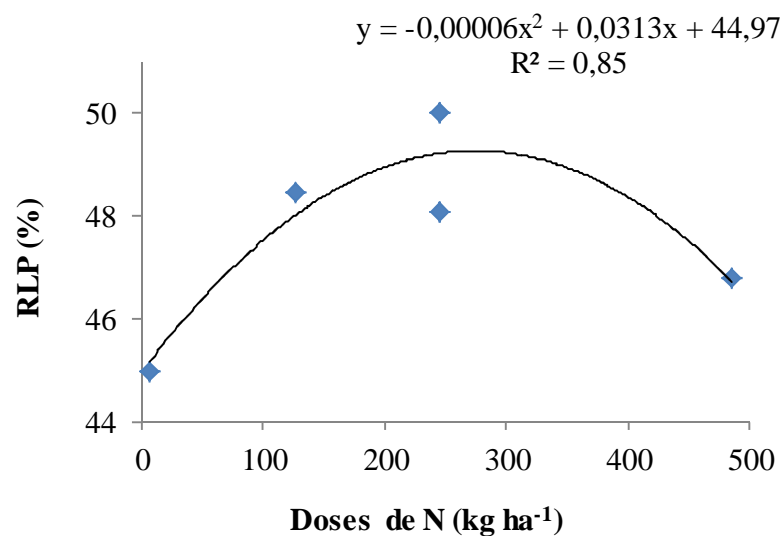


Figura 9 Rendimento em líquido pirolenhoso do clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, aos seis anos de idade, em função das doses de nitrogênio

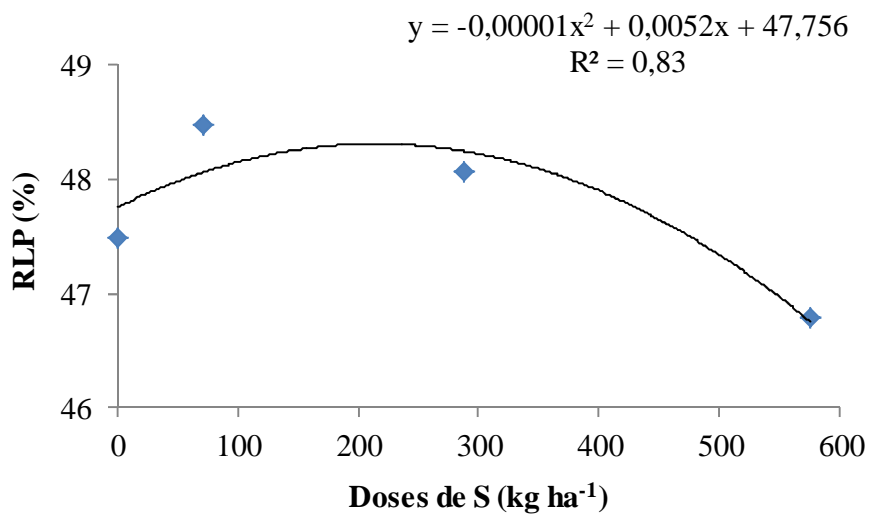


Figura 10 Rendimento em líquido pirolenhoso do clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, aos seis anos de idade, em função das doses de enxofre

#### 4.1.6 Avaliação das características químicas e energéticas do carvão vegetal

Na Tabela 6A (ANEXO A) observa-se o resumo da análise de variância realizada para as características químicas e energéticas do carvão vegetal. Verifica-se que não houve diferenças significativas, a 5% de probabilidade, entre os tratamentos analisados. Observa-se também o alto coeficiente de variação encontrado para o teor de cinzas no carvão vegetal, semelhante ao ocorrido na madeira.

Na Tabela 18 encontram-se os dados médios e o teste de comparação múltipla para os teores de materiais voláteis, cinzas, carbono fixo e poder calorífico superior do carvão vegetal. Os valores médios encontrados para estas características foram semelhantes aos encontrados por Botrel et al. (2007), que avaliaram a composição química imediata do carvão de clones de *Eucalyptus* sp., aos sete anos de idade.

Tabela 18 Valores médios e teste de comparação múltipla para os teores de materiais voláteis, cinzas, carbono fixo e poder calorífico superior do carvão vegetal

Tratamentos	Características			
	TMV	TCz	TCF	PCSc
1	27,85 a	0,28 a	71,92 a	7375 a
2	26,68 a	0,30 a	73,11 a	7435 a
3	25,44 a	0,37 a	74,35 a	7466 a
4	26,92 a	0,38 a	73,03 a	7257 a
5	26,95 a	0,31 a	72,74 a	7345 a

TMV: teor de materiais voláteis (%); TCz: teor de cinzas (%); TCF: teor em carbono fixo (%); PCSc: poder calorífico superior do carvão ( $\text{cal g}^{-1}$ ). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

## 4.2 EXPERIMENTO 2: fertilização fosfatada

### 4.2.1 Avaliação inicial sem considerar a adubação complementar

#### 4.2.1.1 Características de crescimento, densidade básica e estimativa de massa seca

Na Tabela 1B (ANEXO B) é possível observar o resumo da análise de variância realizada para as características de crescimento da árvore, densidade básica média e estimativa de massa seca da madeira de um clone híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, para o experimento com fertilização fosfatada. Não foram observadas diferenças estatísticas significativas para nenhuma destas características, em função das doses de fósforo aplicadas. Observam-se também os baixos coeficientes de variação encontrados.

Na Tabela 19 estão discriminados os valores médios e o teste de comparação múltipla para as variáveis analisadas. Apesar de os tratamentos não apresentarem diferenças estatísticas, observa-se que o tratamento 2 foi o que apresentou os maiores valores para as características de crescimento e estimativa de massa seca em relação aos outros tratamentos.

Tabela 19 Valores médios para as características de crescimento, densidade básica média e estimativa de massa seca da madeira

Tratamentos	Características				
	DAP	VCC	VSC	DBm	MS
1	16,60 a	254,81 a	248,10 a	0,466 a	115,64 a
2	16,81 a	258,92 a	251,90 a	0,472 a	119,80 a
3	16,36 a	244,12 a	236,65 a	0,473 a	112,10 a

DAP: diâmetro à altura do peito (cm); VCC: volume com casca ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ); VSC: volume sem casca ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ); DBm: densidade básica média ( $\text{g cm}^{-3}$ ); MS: massa seca ( $\text{t ha}^{-1}$ ). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey



Valeri et al. (1990), estudando a variação da densidade básica com a aplicação de calcário e fósforo, encontraram que a densidade básica da madeira não foi afetada pela aplicação do calcário, mas diminuiu com a aplicação de 200 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo. Kikuti e Namikawa (1990), em seu estudo da interação de clones com a fertilização em *E. saligna*, constataram que os efeitos da adubação somente foram significativos até os dois anos de idade, para as características de DAP e altura. Para a densidade básica, não houve efeito da fertilização, o que está de acordo com os resultados observados no presente estudo.

#### **4.2.1.2 Avaliação das características químicas e energéticas da madeira**

O resumo da análise de variância para as características químicas e energéticas da madeira se encontra na Tabela 2B (ANEXO B). Observa-se que o efeito da fertilização não apresentou diferenças significativas para todas as características analisadas, a 5% de probabilidade. Portanto, o efeito da fertilização adotada não afetou nenhuma dessas características. Os coeficientes de variação encontrados foram baixos.

Na Tabela 20 observam-se os valores médios e o teste de comparação múltipla para as características analisadas. Os resultados encontrados estão de acordo com os citados por Oliveira et al. (2012) e Neves et al. (2011). Verifica-se que os valores médios dos teores de extrativos totais e de lignina foram menores que os observados no experimento com adubação nitrogenada, especialmente o teor de extrativos. Este resultado indica que a nutrição nitrogenada utilizada afetou de forma mais intensa essas características que a fosfatada. Entretanto, o teor de cinzas e o poder calorífico não variaram em relação ao experimento de adubação nitrogenada.

Tabela 20 Valores médios e teste de comparação múltipla para os teores de extrativos totais, lignina total, cinzas e poder calorífico da madeira

Tratamentos	Características			
	TET	TLT	TCz	PCSm
1	3,52 a	32,21 a	0,247 a	4528 a
2	3,53 a	32,52 a	0,270 a	4527 a
3	3,81 a	32,38 a	0,310 a	4408 a

TET: teor de extrativos totais (%); TLT: teor de lignina total (%); TCz: teor de cinzas (%); PCSm: poder calorífico superior da madeira (cal g<sup>-1</sup>). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

#### 4.2.1.3 Avaliação da composição química elementar da madeira

Na Tabela 3B (ANEXO B) encontra-se o resumo da análise de variância realizada para as características da composição química da madeira. Verifica-se que as características analisadas não apresentaram diferenças estatísticas significativas, a 5% de probabilidade. Observam-se também os baixos coeficientes de variação encontrados.

Na Tabela 21 estão os valores médios e o teste de comparação múltipla para as características analisadas. Observa-se que o teor médio de nitrogênio foi de menor magnitude que o encontrado para o experimento com adubação nitrogenada, porém, ainda maior que os encontrados nos estudos de Neves et al. (2011) e de Reis et al. (2012), que estudaram a qualidade da madeira e do carvão vegetal de diferentes clones de *Eucalyptus* aos sete anos de idade.

Tabela 21 Valores médios e teste de comparação múltipla para os teores de nitrogênio, carbono, hidrogênio e oxigênio da madeira

Tratamentos	Características			
	N	C	H	O
1	0,62 a	47,25 a	6,20 a	45,90 a
2	0,64 a	46,49 a	6,16 a	46,70 a
3	0,64 a	47,05 a	6,15 a	46,16 a

N: nitrogênio (%); C: carbono (%); H: hidrogênio (%); O: oxigênio (%). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

#### 4.2.1.4 Avaliação das dimensões das fibras da madeira

Na Tabela 4B é possível observar o resumo da análise de variância realizada para as dimensões das fibras da madeira. Verifica-se que não ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos analisados, a 5% de probabilidade, para todas as características.

Na Tabela 22 estão os valores médios e o teste de comparação múltipla para as características analisadas. Observa-se, de modo geral, que o aumento da dose de fósforo proporcionou uma ligeira redução nas características dimensionais das fibras, com reflexo mais nítido no comprimento das fibras.

Subrahmanyam (1988), em seus estudos com *Eucalyptus grandis*, verificou que altas doses de fósforo proporcionavam fibras menos extensas e de parede celular mais espessa. Porém, comparando-se com os resultados médios de dimensões das fibras para as fertilizações nitrogenadas e fosfatadas utilizadas neste trabalho, constata-se que os valores não variaram de forma considerável.

Tabela 22 Valores médios e teste de comparação múltipla para o comprimento da fibra, largura da fibra, diâmetro do lume e espessura da parede celular da fibra da madeira

Tratamentos	Características			
	Compf	Largf	Diâmlume	Espf
1	841,76 a	17,96 a	10,81 a	3,62 a
2	802,73 a	16,54 a	10,05 a	3,37 a
3	772,02 a	17,83 a	10,65 a	3,59 a

Compf: comprimento da fibra ( $\mu\text{m}$ ); Largf: largura da fibra ( $\mu\text{m}$ ); Diâmlume: diâmetro do lume ( $\mu\text{m}$ ); Espf: espessura da parede da fibra ( $\mu\text{m}$ ). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

#### 4.2.1.5 Avaliação dos rendimentos gravimétricos e da densidade relativa aparente do carvão vegetal

Na Tabela 5B observa-se o resumo da análise de variância realizada para os rendimentos gravimétricos e a densidade relativa aparente do carvão vegetal. Observa-se que o efeito da fertilização foi significativo somente para o rendimento em carbono fixo, a 5% de probabilidade. As demais características não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos aplicados. Observam-se também os baixos coeficientes de variação encontrados.

Na Tabela 23 estão os valores médios e o teste de comparação múltipla para as variáveis analisadas. Verifica-se que a fertilização fosfatada apresentou comportamento semelhante ao da nitrogenada, para todas as características avaliadas. Santos et al. (2011), estudando quatro clones de eucalipto aos sete anos de idade, encontraram valores médios para o rendimento gravimétrico em carvão vegetal variando entre 28,27% e 30,21%, inferiores aos observados neste trabalho. Botrel et al. (2007), trabalhando com clones de *Eucalyptus* aos seis anos e meio, e Reis et al. (2012), estudando o efeito de local e do espaçamento na qualidade do carvão vegetal de um clone de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake aos sete anos de idade, encontraram valores médios para o rendimento

gravimétrico em carbono fixo, respectivamente, de 25,97% e de 26,81%, os quais são superiores aos encontrados neste estudo. Valores elevados de rendimento em carbono fixo são desejáveis quando a madeira for destinada ao uso siderúrgico. Esta característica envolve, simultaneamente, características de produtividade e de qualidade relacionadas ao carvão vegetal (ANDRADE et al., 1994).

Tabela 23 Valores médios e teste de comparação múltipla para o rendimento gravimétrico, líquido pirolenhoso, carbono fixo e densidade relativa aparente do carvão vegetal

Tratamentos	Características			
	RGC	RLP	RCF	DRA
1	33,64 a	48,75 a	24,80 b	0,371 a
2	33,57 a	48,89 a	24,51 ab	0,366 a
3	33,04 a	47,86 a	24,02 a	0,385 a

RGC: rendimento gravimétrico em carvão (%); RLP: rendimento em líquido pirolenhoso (%); RCF: rendimento em carbono fixo (%); DRA: densidade relativa aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ ). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Considerando o efeito das doses de fósforo aplicadas nestes tratamentos, observou-se tendência de comportamento linear na característica rendimento em carbono fixo (Figura 11). Esta tendência indica que, com o aumento da dosagem de fósforo, ocorre uma redução em rendimento de carbono fixo.

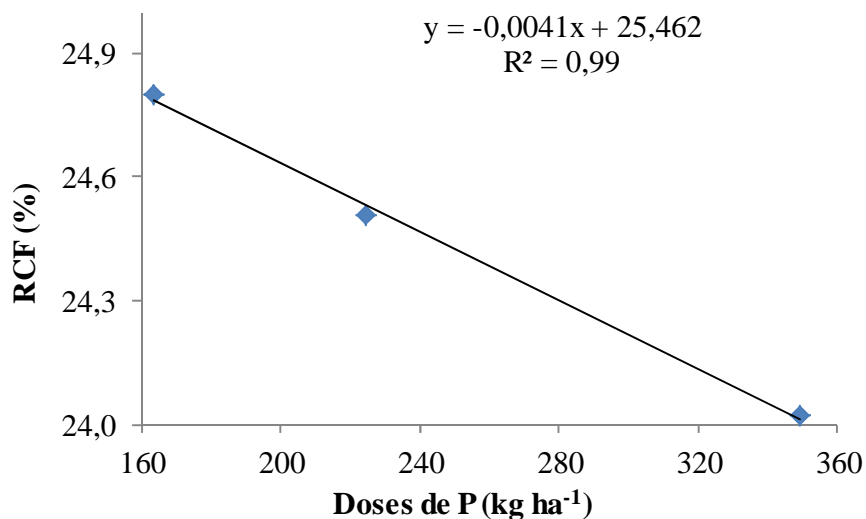


Figura 11 Rendimento em carbono fixo do clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, aos seis anos de idade, em função das doses de fósforo

#### 4.2.1.6 Avaliação das características químicas e energéticas do carvão vegetal

Na Tabela 6B (ANEXO B) encontra-se o resumo da análise de variância realizada para as características químicas e energéticas do carvão vegetal. Verifica-se que o efeito da fertilização apresentou diferenças significativas somente para o teor em carbono fixo e o poder calorífico superior do carvão vegetal. As demais características analisadas não apresentaram diferenças significativas, a 5% de probabilidade. Observa-se também que foram encontrados baixos coeficientes de variação para estas características.

Na Tabela 24 estão discriminados os valores médios e o teste de comparação múltipla para as características avaliadas. Verifica-se que a menor dosagem de fósforo referente ao tratamento 1 foi aquela que apresentou menores

valores para o teor de cinzas e maiores valores para o poder calorífico superior e carbono fixo.

Tabela 24 Valores médios para os teores de materiais voláteis, cinzas, carbono fixo e poder calorífico superior do carvão vegetal

Tratamentos	Características			
	TMV	TCz	TCF	PCSc
1	25,92 a	0,410 a	73,73 b	7429 b
2	26,58 a	0,452 a	73,03 ab	7390 b
3	26,88 a	0,415 a	72,70 a	7294 a

TMV: teor de materiais voláteis (%); TCz: teor de cinzas (%); TCF: teor em carbono fixo (%); PCSc: poder calorífico superior do carvão ( $\text{cal g}^{-1}$ ). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Nas Figuras 12 e 13 observa-se uma tendência de comportamento linear para as características rendimento em carbono fixo e poder calorífico superior do carvão, para as doses de fósforo, respectivamente. Para as características analisadas, a tendência observada indica que, com o aumento da dosagem de fósforo, haverá uma redução dos valores de carbono fixo e poder calorífico.

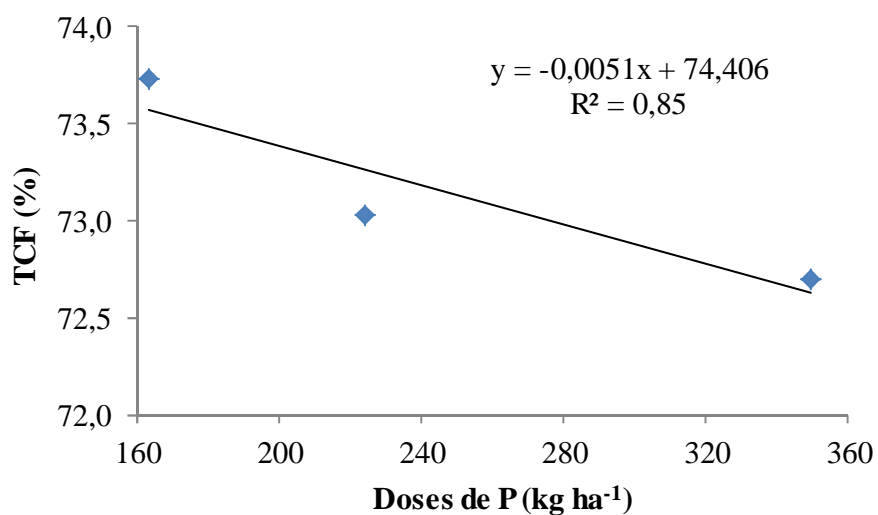


Figura 12 Teor em carbono fixo do clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, aos seis anos de idade, em função das doses de fósforo

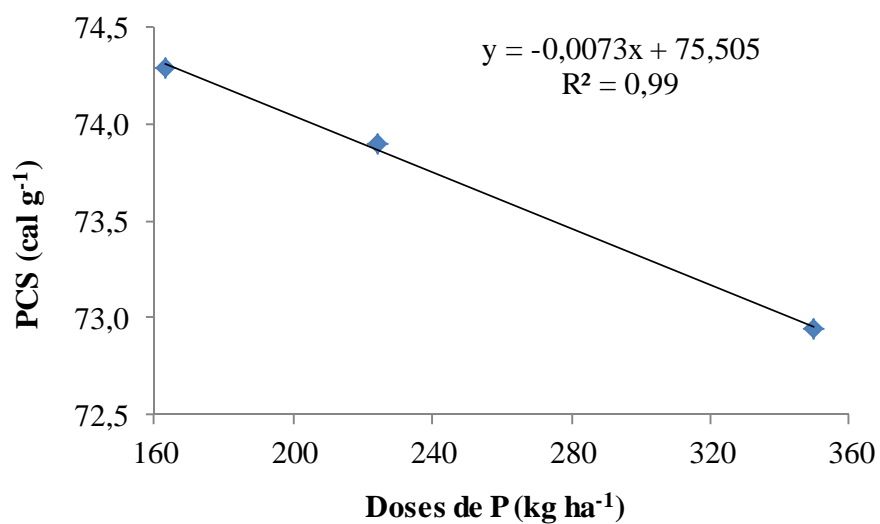


Figura 13 Poder calorífico superior do clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, aos seis anos de idade, em função das doses de fósforo



## **4.2.2 Avaliação considerando apenas a adubação complementar**

### **4.2.2.1 Características de crescimento, densidade básica e estimativa de massa seca**

O resumo da análise de variância realizada para as características de crescimento, densidade básica e estimativa de massa seca se encontra na Tabela 7B (ANEXO B). Verifica-se que o efeito da fertilização não apresentou diferenças estatísticas, a 5% de probabilidade, para as características analisadas, exceto para a estimativa de massa seca. Observam-se também os baixos coeficientes de variação encontrados para estas características.

Na Tabela 25 estão os valores médios e o teste de comparação múltipla para as características de crescimento, densidade básica média e estimativa de massa seca. Verifica-se que, com a aplicação da adubação complementar, ocorreu redução nos valores encontrados para as características de crescimento e estimativa de massa seca; somente para a densidade básica da madeira ocorreu um ligeiro aumento. Observa-se, no geral, que o tratamento 2 foi o que proporcionou os menores valores de volume, com e sem casca e densidade básica, apesar da não significância estatística. Este fato foi determinante para o aumento da estimativa de massa seca nesse tratamento e provocar a diferença estatística com o tratamento 3. Estes valores são superiores aos encontrados nos trabalhos de Santos et al. (2011) e Trugilho et al. (2007). No entanto, o resultado encontrado indica que este tratamento permanece sendo o mais indicado.

Na Figura 14 mostra-se uma tendência de comportamento linear para a estimativa de produção de massa seca. Observa-se que, com o aumento das doses, ocorre redução na produção de massa seca.

Tabela 25 Valores médios e o teste de comparação múltipla para o DAP, volume com casca, volume sem casca, densidade básica e estimativa de massa seca

Tratamentos	Características				
	DAP	VCC	VSC	DBm	MS
1	16,03 a	230,29 a	222,93 a	0,484 a	107,84 a b
2	16,01 a	232,57 a	225,36 a	0,487 a	111,63 b
3	15,34 a	202,89 a	195,63 a	0,481 a	94,22 a

DAP: diâmetro à altura do peito (cm); VCC: volume com casca ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ); VSC: volume sem casca ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ); DBm: densidade básica média ( $\text{g cm}^{-3}$ ); MS: massa seca ( $\text{t ha}^{-1}$ ). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

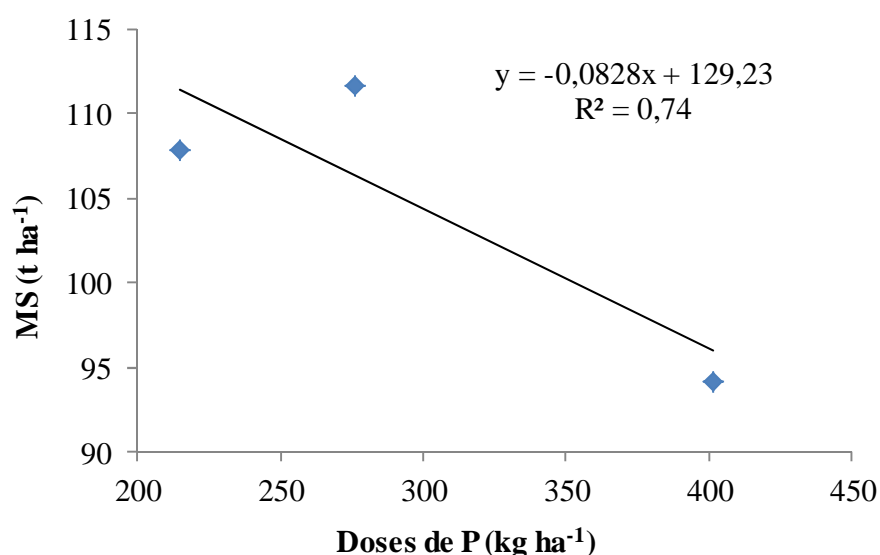


Figura 14 Massa seca do clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, aos seis anos de idade, em função das doses de fósforo

#### 4.2.2.2 Avaliação das características químicas e energéticas da madeira

Na Tabela 8B (ANEXO B) encontra-se o resumo da análise de variância realizada para as características químicas e energéticas da madeira. Verifica-se

que o efeito da fertilização não apresentou diferenças significativas, a 5% de probabilidade, para as características avaliadas. Observam-se também os baixos coeficientes de variação encontrados.

Na Tabela 26 estão os valores médios e o teste de comparação múltipla para as características analisadas. Observa-se que, comparando-se com as dosagens iniciais de plantio (Tabela 20), ocorreu um aumento dos valores com aplicação da adubação complementar para o teor de extrativos, teor de cinzas e poder calorífico superior da madeira. No entanto, o teor de lignina apresentou uma redução após a adubação complementar. Os valores encontrados neste trabalho assemelham-se aos encontrados por Neves et al. (2011).

Tabela 26 Valores médios e teste de comparação múltipla para os teores de extrativos totais, lignina total, cinzas e poder calorífico superior da madeira

Tratamentos	Características			
	TET	TLT	TCz	PCSm
1	4,56 a	32,12 a	0,260 a	4537 a
2	4,54 a	31,61 a	0,267 a	4538 a
3	5,16 a	32,16 a	0,277 a	4524 a

TET: teor de extrativos totais (%); TLT: teor de lignina total (%); TCz: teor de cinzas (%); PCSm: poder calorífico superior da madeira (cal g<sup>-1</sup>). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

#### 4.2.2.3 Avaliação da composição química elementar da madeira

Na Tabela 9B (ANEXO B) encontra-se o resumo da análise de variância realizada para as características da composição química elementar da madeira. Verifica-se que o efeito da fertilização não apresentou diferenças estatísticas, a 5% de probabilidade, para as características analisadas. Observam-se também os baixos coeficientes de variação encontrados.

Na Tabela 27 estão os valores médios e o teste de comparação múltipla para as características analisadas. Apesar de não ocorrerem diferenças estatísticas, verifica-se que, com a aplicação da adubação complementar, o tratamento 2 apresentou um ligeiro aumento para o teor de nitrogênio, em relação às médias obtidas com as dosagens iniciais (Tabela 21). Os valores de nitrogênio encontrados neste estudo são superiores aos encontrados nos estudos de Castro (2011), que avaliou o efeito da idade e de materiais genéticos na qualidade da madeira de *Eucalyptus* e do carvão vegetal, de 3 a 7 anos.

Santos (2010) encontrou teores de nitrogênio variando de 0,16% a 0,20%, para madeiras de clones de *Eucalyptus* sp., os quais são inferiores aos encontrados no presente trabalho. Os valores encontrados neste estudo podem estar relacionados à adubação utilizada no experimento.

Tabela 27 Valores médios e teste de comparação múltipla para os teores de nitrogênio, carbono, hidrogênio e oxigênio da madeira

Tratamentos	Características			
	N	C	H	O
1	0,76 a	46,94 a	6,19 a	46,09 a
2	0,81 a	47,15 a	6,14 a	45,90 a
3	0,73 a	46,83 a	6,12 a	46,32 a

N: nitrogênio (%); C: carbono (%); H: hidrogênio (%); O: oxigênio (%). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

A composição química elementar corresponde ao conteúdo percentual em massa dos principais elementos que constituem a biomassa, geralmente referido à matéria seca, ou seja, sem considerar a presença de água. São representados valores para carbono, hidrogênio, enxofre, oxigênio, nitrogênio e cinzas. Esta última parcela agrega todos os elementos que não são relevantes nas

reações de combustão, como o potássio, o fósforo e o cálcio (BRAND, 2010). Alguns autores chegam a considerar que a composição química elementar é a característica térmica mais importante do combustível.

#### **4.2.2.4 Avaliação das dimensões das fibras da madeira**

Na Tabela 10B (ANEXO B) encontra-se o resumo da análise de variância para as características das dimensões das fibras da madeira. Observa-se que, após a adubação complementar, as características analisadas não apresentaram diferenças significativas, a 5% de probabilidade. Foram encontrados também baixos coeficientes de variação.

Na Tabela 28 estão dispostos os valores médios e o teste de comparação múltipla para as variáveis analisadas. Verifica-se que ocorreu um aumento no comprimento das fibras e na espessura da parede das fibras, quando comparados com as médias obtidas nas dosagens iniciais de plantio (Tabela 22) e uma leve redução para as demais características analisadas. Os resultados encontrados estão em conformidade com os encontrados por Trugilho (2009) e Oliveira et al. (2012), que estudaram os parâmetros quantitativos da anatomia da madeira de eucalipto que cresceu em diferentes locais. Somente os valores do diâmetro do lume encontrados neste estudo foram inferiores aos dos trabalhos dos referidos autores.

Tabela 28 Valores médios e o teste de comparação múltipla para o comprimento da fibra, largura da fibra, diâmetro do lume e espessura da parede da fibra da madeira

Tratamentos	Características			
	Compf	Largf	Diâmlume	Espf
1	845,16 a	17,37 a	9,87 a	3,74 a
2	808,49 a	16,67 a	9,60 a	3,53 a
3	838,00 a	16,69 a	9,08 a	3,77 a

Compf: comprimento da fibra ( $\mu\text{m}$ ); Largf: largura da fibra ( $\mu\text{m}$ ); Diâmlume: diâmetro do lume ( $\mu\text{m}$ ); Espf: espessura da parede da fibra ( $\mu\text{m}$ ). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey

#### 4.2.2.5 Avaliação dos rendimentos gravimétricos e da densidade relativa aparente do carvão vegetal

O resumo da análise de variância para os rendimentos gravimétricos e a densidade relativa do carvão vegetal após a adubação complementar podem ser observados na Tabela 11B (ANEXO B). O efeito da fertilização foi significativo somente para a densidade relativa aparente. Portanto, o efeito da fertilização não influenciou as demais características do carvão vegetal. Observem-se os baixos coeficientes de variação.

Na Tabela 29 estão os valores médios e o teste de comparação múltipla para os rendimentos e a densidade relativa aparente do carvão vegetal. Verifica-se que os tratamentos após a adubação complementar apresentaram comportamentos semelhantes em relação às dosagens iniciais de plantio da fertilização fosfatada e nitrogenada.

Tabela 29 Valores médios e o teste de comparação múltipla para o rendimento gravimétrico em carvão, líquido pirolenhoso, carbono fixo e densidade relativa aparente do carvão vegetal

Tratamentos	Características			
	RGC	RLP	RCF	DRA
1	33,63 a	48,54 a	24,55 a	0,365 a
2	33,65 a	48,67 a	24,77 a	0,383 b
3	32,56 a	42,43 a	23,86 a	0,365 a

RGC: rendimento gravimétrico do carvão (%); RLP: rendimento em líquido pirolenhoso (%); RCF: rendimento em carbono fixo (%); DRA: densidade relativa aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ ). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

O tratamento 3 apresentou redução para todas as características avaliadas. Os valores encontrados estão de acordo com os relatados por Assis et al. (2012) que estudaram a qualidade e o rendimento do carvão vegetal de um clone híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, aos sete anos de idade. Somente a densidade relativa aparente apresentou valores inferiores aos encontrados neste estudo. Neves et al. (2011), estudando clones comerciais de *Eucalyptus* em diferentes locais, encontraram rendimento médio em líquido pirolenhoso de 44%, inferior ao observado neste trabalho e rendimento gravimétrico de 32%, que está de acordo com os resultados encontrados. Frederico (2009), estudando *Eucalyptus grandis* e híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 3 anos, encontrou rendimentos gravimétricos em carvão de 28,36% a 31,60%, os quais são inferiores aos obtidos neste estudo.

#### 4.2.2.6 Avaliação das características químicas e energéticas do carvão vegetal

Na Tabela 12B (ANEXO B) encontra-se o resumo de variância para a avaliação das características químicas e energéticas realizadas para o carvão vegetal. Verifica-se que a fertilização fosfatada não apresentou diferenças significativas, a 5%, para nenhuma das características avaliadas. Observa-se também que foram encontrados baixos coeficientes de variação, com exceção do teor de cinzas, que apresentou coeficiente experimental mais elevado em relação às outras características.

Na Tabela 30 estão os valores médios e o teste de comparação múltipla para as características avaliadas. Observa-se que, em relação aos valores médios encontrados para as dosagens iniciais de plantio (Tabela 24), os valores encontrados após a adubação complementar apresentaram redução para os teores de materiais voláteis e cinzas. O tratamento 1 apresentou um ligeiro aumento no teor de carbono fixo e poder calorífico. Os valores encontrados assemelham-se aos encontrados por Reis et al. (2012), exceto para o teor de cinzas, que foi superior ao encontrado neste estudo.

Tabela 30 Valores médios e teste de comparação múltipla para os teores de materiais voláteis, cinzas, carbono fixo e poder calorífico do carvão vegetal

Tratamentos	Características			
	TMV	TCz	TCF	PCSc
1	26,56 a	0,380 a	73,17 a	7385 a
2	26,06 a	0,340 a	73,60 a	7421 a
3	26,29 a	0,390 a	73,31 a	7486 a

TMV: teor de materiais voláteis (%); TCz: teor de cinzas (%); TCF: teor em carbono fixo (%); PCSc: poder calorífico superior do carvão ( $\text{cal g}^{-1}$ ). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey



### **4.2.3 Avaliação considerando a adubação inicial somado a adubação complementar**

#### **4.2.3.1 Características de crescimento, densidade básica e estimativa de massa seca**

Na Tabela 13B (ANEXO B) é possível observar o resumo da análise de variância para as características de crescimento, densidade básica média e estimativa de massa seca da madeira. Verifica-se que o efeito da fertilização foi significativo, a 5% de probabilidade, para as características de crescimento e estimativa de massa seca; somente a densidade básica da madeira não apresentou diferenças significativas entre as dosagens aplicadas. Podem-se observar também os baixos coeficientes de variação encontrados para estas características.

Os valores médios e o teste de comparação múltipla para as características analisadas se encontram na Tabela 31. Verifica-se que as dosagens iniciais de plantio apresentaram os melhores resultados, quando comparados com os resultados encontrados após a adubação complementar. Observa-se que os maiores valores encontrados foram para o tratamento 2, referente à dosagem inicial de plantio.

Este resultado indica que o tratamento 2 parece ser o mais indicado para a nutrição com fósforo. Estes valores são superiores aos valores encontrados nos trabalhos de Santos et al. (2011) e Trugilho et al. (2007).

Tabela 31 Valores médios e teste de comparação múltipla para o DAP, volume com casca, volume sem casca, densidade básica média e estimativa de massa seca

Tratamentos		Características				
		DAP	VCC	VSC	DBm	MS
Inicial	1	16,60 b	254,81 b	248,10 b	0,466 a	115,64 b
	2	16,81b	258,92 b	224,36 b	0,472 a	119,80 b
	3	16,36 b	244,12 b	236,65 b	0,473 a	112,10 b
Inicial + complement ar	1	16,03 ab	230,29 ab	222,93 ab	0,484 a	107,84 ab
	2	16,01 ab	232,57 ab	225,36 ab	0,487 a	111,63 b
	3	15,34 a	202,89 a	195,63 a	0,481 a	94,11 a

DAP: diâmetro à altura do peito (cm); VCC: volume com casca ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ); VSC: volume sem casca ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ); Dbm: densidade básica média ( $\text{g cm}^{-3}$ ); MS: massa seca ( $\text{t ha}^{-1}$ ). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Os resultados encontrados podem estar relacionados com a fase de crescimento da planta e também com a associação de outros elementos químicos, macronutrientes como o nitrogênio e o enxofre, além do fato de que a associação de micronutrientes que estão presentes nas fontes aplicadas, apesar de não terem um peso significativo, pode afetar a absorção do fósforo pela planta.

Nas Figuras 15, 16, 17 e 18 mostra-se uma tendência observada de comportamento linear para as características de crescimento e estimativa de massa seca. Verifica-se que a qualidade do ajuste das equações não foi boa para todas as variáveis analisadas, mas indica que o aumento da dosagem de P tendeu a reduzir as características de crescimento e a estimativa de massa seca.

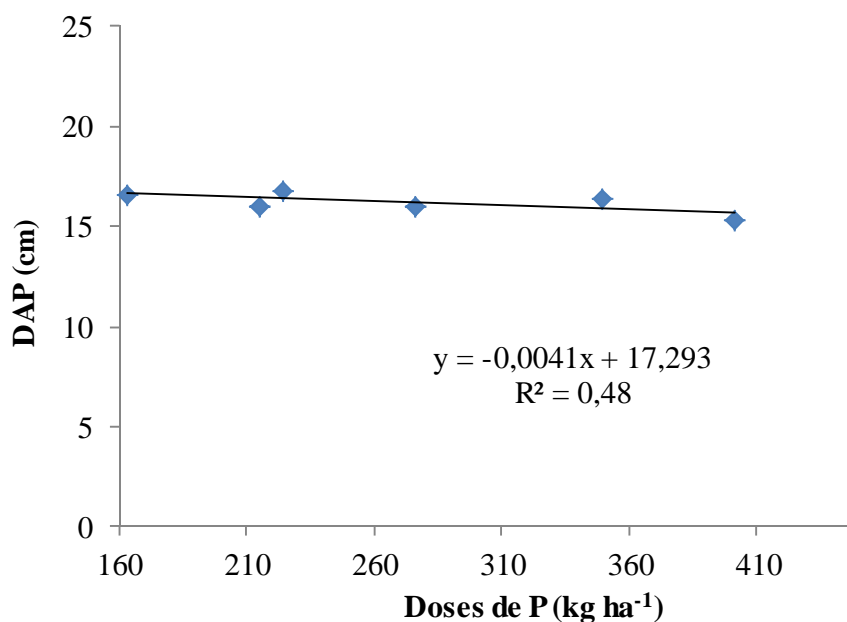


Figura 15 DAP do clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, aos seis anos de idade, em função das doses de fósforo

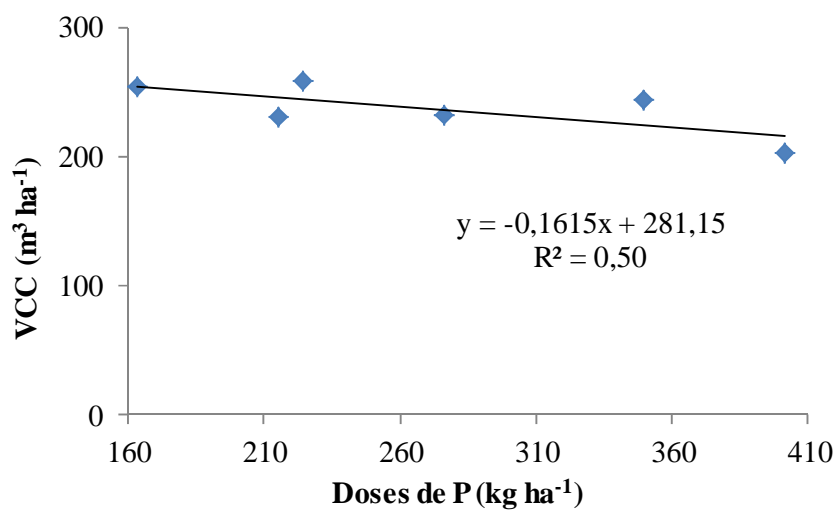


Figura 16 Volume com casca do clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, aos seis anos de idade, em função das doses de fósforo

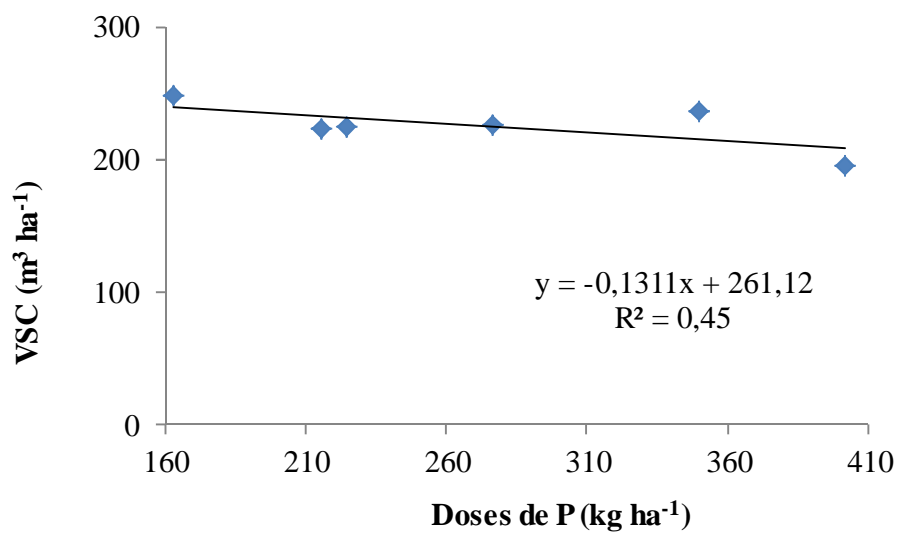


Figura 17 Volume sem casca do clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, aos seis anos de idade, em função das doses de fósforo

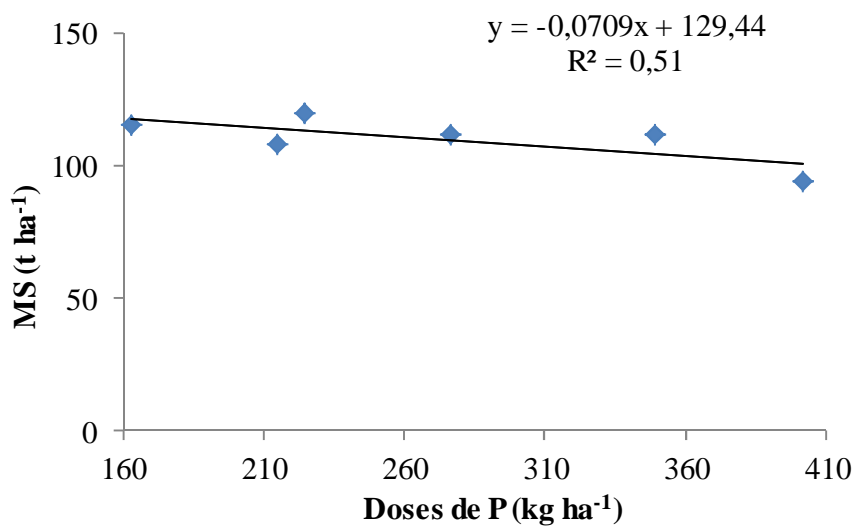


Figura 18 Massa seca do clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, aos seis anos de idade, em função das doses de fósforo

Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Andrade et al. (1994) que, estudando o efeito da fertilização na qualidade da madeira de *E. grandis* aos seis anos de idade, observaram que, para a densidade, não houve diferenças significativas, porém, ocorreu ligeira diminuição em relação às árvores não adubadas. Vigneron, Gerard e Bouvet (1995), estudando o efeito da fertilização em clones de híbrido de *Eucalyptus* sobre a densidade básica da madeira, observaram que a fertilização provocou ligeiros aumentos na densidade básica. A existência de resultados conflitantes sobre o efeito da fertilização na densidade da madeira, podendo haver redução, aumento ou não alteração dessa propriedade física com a adubação, enfatiza que, se houver diminuição, a massa da madeira produzida por hectare será maior, devido ao maior crescimento volumétrico (VITAL, 1990; BARREIROS et. al., 2007; SETTE JUNIOR et al., 2009).

#### **4.2.3.2 Avaliação das características químicas e energéticas da madeira**

Na Tabela 14B (ANEXO B) encontra-se o resumo da análise de variância realizada para as características químicas e energéticas da madeira. Verifica-se que houve diferenças significativas somente para o teor extrativos totais e as demais características não apresentaram diferenças estatísticas, a 5% de probabilidade. Observa-se, de maneira geral, que os coeficientes de variação para estas características foram baixos.

Na Tabela 32 encontram-se os valores médios e o teste de comparação múltipla para as variáveis analisadas. Verifica-se que, para o teor de extrativos totais, ocorreram ligeiros aumentos e, para o teor de lignina, ocorreu uma leve redução com aplicação da adubação complementar. Os valores encontrados neste trabalho assemelham-se aos encontrados por Neves et al. (2011).

Tabela 32 Valores médios e teste de comparação múltipla para os teores de extrativos totais, lignina total, cinzas e poder calorífico superior da madeira

Tratamentos		Características			
		TET	TLT	TCz	PCSm
Inicial	1	3,52 a	32,21 a	0,24 a	4528 a
	2	3,53 a	32,52 a	0,27 a	4527 a
	3	3,81 a	32,38 a	0,31 a	4408 a
Inicial + complementar	1	4,56 ab	32,12 a	0,26 a	4537 a
	2	4,54 ab	31,61 a	0,26 a	4538 a
	3	5,16 b	32,16 a	0,27 a	4524 a

TET: teor de extrativos totais (%); TLT: teor de lignina total (%); TCz: teor de cinzas (%); PCSm: poder calorífico superior da madeira (cal g<sup>-1</sup>). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

No gráfico da Figura 19 observa-se a tendência de comportamento linear para o teor de extrativos totais. Verifica-se que o aumento da dosagem de P resultou na elevação do teor de extrativos totais.

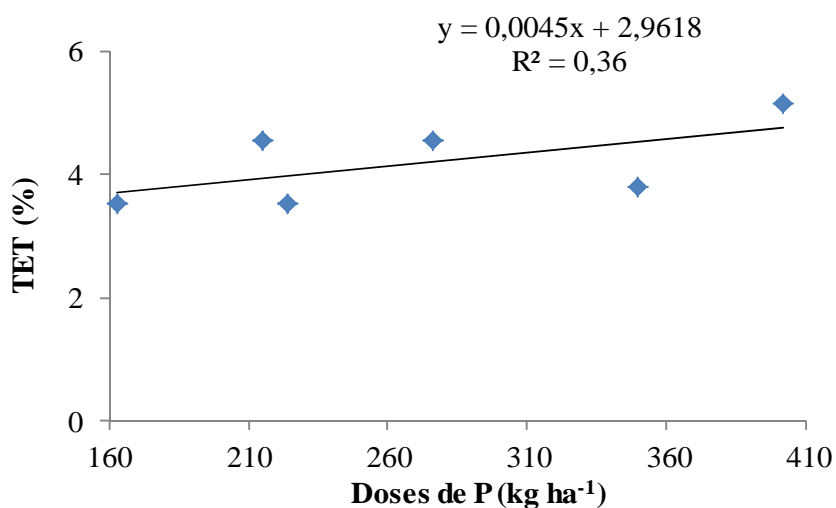


Figura 19 Teor de extrativos totais do clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, aos seis anos de idade, em função das doses de fósforo

#### 4.2.3.3 Avaliação da composição química elementar da madeira

O resumo da análise de variância realizada para a composição química elementar da madeira pode ser observado na Tabela 15B (ANEXO B). Verifica-se que o efeito da fertilização foi significativo somente para o teor de nitrogênio. Os teores de hidrogênio, carbono e oxigênio não apresentaram diferenças significativas, a 5% de probabilidade. Observam-se, também, os baixos coeficientes de variação encontrados.

Na Tabela 33 estão os valores médios e o teste de comparação múltipla para as variáveis analisadas. Pode-se observar que, com a aplicação da adubação complementar, ocorreu um ligeiro aumento no teor de nitrogênio.

Tabela 33 Valores médios e teste de comparação múltipla para os teores de nitrogênio, carbono, hidrogênio e oxigênio da madeira.

Tratamentos		Características			
		N	C	H	O
Inicial	1	0,62 a	47,25 a	6,20 a	45,90 a
	2	0,64 ab	46,49 a	6,16 a	46,70 a
	3	0,64 ab	47,05 a	6,15 a	46,16 a
Inicial + complementar	1	0,76 ab	46,94 a	6,19 a	46,09 a
	2	0,81 b	47,15 a	6,14 a	45,90 a
	3	0,73 a b	46,83 a	6,12 a	46,32 a

N: nitrogênio (%); C: carbono (%); H: hidrogênio (%); O: oxigênio (%). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Os valores encontrados neste trabalho estão de acordo com os relatados por Neves et al. (2011), Paula et al. (2011), Protásio et al. (2011a) e Oliveira et al. (2010), exceto para os valores de nitrogênio, superiores aos da literatura.

#### 4.2.3.4 Avaliação das dimensões das fibras da madeira

Na Tabela 16B (ANEXO B) encontra-se o resumo da análise de variância realizada para as dimensões das fibras da madeira. Verifica-se que o efeito da fertilização fosfatada não apresentou diferenças estatísticas, a 5% de probabilidade, nas características analisadas. Observa-se também que foram encontrados baixos coeficientes de variação.

Os valores médios e o teste de comparação múltipla para as variáveis analisadas se encontram na Tabela 34. Observa-se que, quando se comparam os efeitos das dosagens iniciais de plantio com os após a adubação complementar, constata-se que ocorreram ligeiros aumentos para o comprimento das fibras e a espessura da parede das fibras e uma ligeira redução na largura das fibras e no diâmetro do lume. Os resultados encontrados estão em conformidade com os encontrados por Trugilho (2009) e Oliveira et al. (2012).

De acordo com Jianju, Wenbin e Xiuzhen (1995) e Tomazello Filho (2006), a fertilização não mostrou influência no comprimento das fibras do lenho de árvores de *Eucalyptus urophylla*, com 9 anos, de 5 áreas experimentais na China, embora tenha sido detectada correlação positiva entre a largura das fibras e a fertilização aplicada nas árvores de eucalipto.



Tabela 34 Valores médios e teste de comparação múltipla para o comprimento da fibra, largura da fibra, diâmetro do lume e espessura da parede da fibra da madeira

Tratamentos		Características			
		Compf	Largf	Diâmlume	Espf
Inicial	1	841,76 a	17,96 a	10,81 a	3,62 a
	2	802,73 a	16,54 a	10,05 a	3,37 a
	3	772,02 a	17,83 a	10,65 a	3,59 a
Inicial + complementar	1	845,16 a	17,37 a	9,87 a	3,74 a
	2	808,49 a	16,57 a	9,60 a	3,52 a
	3	838,00 a	16,69 a	9,08 a	3,77 a

Compf: comprimento da fibras ( $\mu\text{m}$ ); Largf: largura da fibra ( $\mu\text{m}$ ); Diâmlume: diâmetro do lume: ( $\mu\text{m}$ ); Espf: espessura da parede da fibra ( $\mu\text{m}$ ). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

#### 4.2.3.5 Avaliação dos rendimentos gravimétricos e da densidade relativa aparente do carvão vegetal

Na Tabela 17B (ANEXO B) observa-se o resumo da análise de variância para os rendimentos gravimétricos e a densidade relativa aparente carvão vegetal. Verifica-se que o efeito da fertilização não apresentou diferenças significativas, a 5% de probabilidade, para nenhuma das características analisadas. Observam-se também os baixos coeficientes de variação encontrados.

Na Tabela 35 estão discriminados os valores médios e o teste de comparação múltipla para as características analisadas. Observa-se que não ocorreram grandes variações entre os valores encontrados para os efeitos das dosagens no início do plantio e após a adubação complementar. Apesar da não significância, o tratamento 3, após a adubação complementar, foi o que apresentou menores valores para todas as características analisadas. Este resultado indica que não se justifica a aplicação de dosagens elevadas do referido nutriente para estas características. Estes resultados também estão de

acordo com os reportados por Assis et al. (2012), Frederico (2009) e Castro (2011).

Tabela 35 Valores médios e teste de comparação múltipla para o rendimento gravimétrico, líquido pirolenhoso, carbono fixo e densidade relativa aparente do carvão vegetal

Tratamentos		Características			
		RGC	RLP	RCF	DRA
Inicial	1	33,64 a	48,75 a	24,80 a	0,371 a
	2	33,57 a	48,89 a	24,51 a	0,366 a
	3	33,04 a	47,86 a	24,02 a	0,385 a
Inicial + complementar	1	33,63 a	48,54 a	24,55 a	0,365 a
	2	33,65 a	48,67 a	24,77 a	0,383 a
	3	32,56 a	42,43 a	23,86 a	0,365 a

RGC: rendimento gravimétrico em carvão (%); RLP: rendimento em líquido pirolenhoso (%); RCF: rendimento em carbono fixo (%); DRA: densidade relativa aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ ). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

#### 4.2.3.6 Avaliação das características químicas e energéticas do carvão vegetal

Na Tabela 18B (ANEXO B) observa-se o resumo da análise de variância realizada para as características químicas e energéticas do carvão vegetal, sendo possível verificar que não houve efeito significativo para nenhuma das características avaliadas, a 5% de probabilidade.

Na Tabela 36 encontram-se os valores médios e o teste de comparação múltipla para todas as características avaliadas. Verifica-se que, com o aumento das dosagens, os tratamentos apresentaram ligeira redução, tendo somente os tratamentos 3 e 4 apresentado aumento para o teor de carbono fixo e o poder calorífico superior do carvão.

Tabela 36 Valores médios e teste de comparação múltipla para os teores de materiais voláteis, cinzas, carbono fixo e poder calorífico superior do carvão vegetal

Tratamentos		Características			
		TMV	TCz	TCF	PCSc
Inicial	1	25,92 a	0,410 a	73,73 a	7429 a
	2	26,56 a	0,385 a	73,17 a	7385 a
	3	26,58 a	0,452 a	73,03 a	7390 a
Inicial + complementar	1	26,06 a	0,347 a	73,60 a	7421 a
	2	26,88 a	0,415 a	72,70 a	7494 a
	3	26,29 a	0,392 a	73,31 a	7486 a

TMV: teor de materiais voláteis (%); TCz: teor de cinzas (%); TCF: teor em carbono fixo (%); PCSc: poder calorífico superior do carvão ( $\text{cal g}^{-1}$ ). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

### 4.3 EXPERIMENTO 3 - fertilização potencial

#### 4.3.1 Avaliação inicial sem considerar a adubação complementar

##### 4.3.1.1 Características de crescimento, densidade básica e estimativa de massa seca

O resumo da análise de variância realizada para as características de crescimento, densidade básica média e estimativa de massa seca da madeira encontra-se na Tabela 1C (ANEXO C). Verifica-se que o efeito de tratamento foi significativo somente para volume com casca, volume sem casca e estimativa de massa seca, a 5% de probabilidade. Para o diâmetro à altura do peito e a densidade básica média não ocorreu efeito da fertilização aplicada. Observam-se também os baixos coeficientes de variação encontrados.

Na Tabela 37 encontram-se os valores médios do teste de comparação múltipla para o DAP, volume com casca, volume sem casca, densidade básica média e estimativa de massa seca da madeira. Verifica-se, de modo geral, que o

tratamento 2 foi o que apresentou um ligeiro aumento para todas as características analisadas.

Os valores encontrados para o tratamento 2 foram similares aos observados no tratamento 2, da fertilização fosfatada inicial (Tabela 19) e após a adubação complementar (Tabela 25), e também foram semelhantes aos encontrados no tratamento 2, da fertilização nitrogenada (Tabela 12). Dessa forma, pode-se considerar que a variação existente entre os tratamentos pode estar relacionada à interação dos nutrientes presentes nesse tipo de adubação.

A tendência observada de comportamento linear, em relação às dosagens de nitrogênio utilizadas nos tratamentos para as características de crescimento e produção de massa seca, pode ser constatada nas Figuras 20, 21 e 22.

Tabela 37 Valores médios e o teste de comparação múltipla para o diâmetro à altura do peito, volume com casca, volume sem casca, densidade básica média e estimativa de massa seca da madeira

Tratamentos	Características				
	DAP	VCC	VSC	DBm	MS
1	15,38 a	214,38 a	206,81a	0,451 a	93,22 a
2	16,09 a	247,28 b	239,80 b	0,467 a	112,20 b
3	15,77 a	233,09 ab	226,06 ab	0,451 a	102,09 ab
4	15,87 a	236,96 ab	230,11 ab	0,458 a	105,58 b
5	15,92 a	234,44 ab	227,00 ab	0,457 a	103,86 ab

DAP: diâmetro à altura do peito (cm); VCC: volume com casca ( $m^3 ha^{-1}$ ); VSC: volume sem casca ( $m^3 ha^{-1}$ ); Dbm: densidade básica média ( $g cm^{-3}$ ); MS: massa seca ( $t ha^{-1}$ ). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

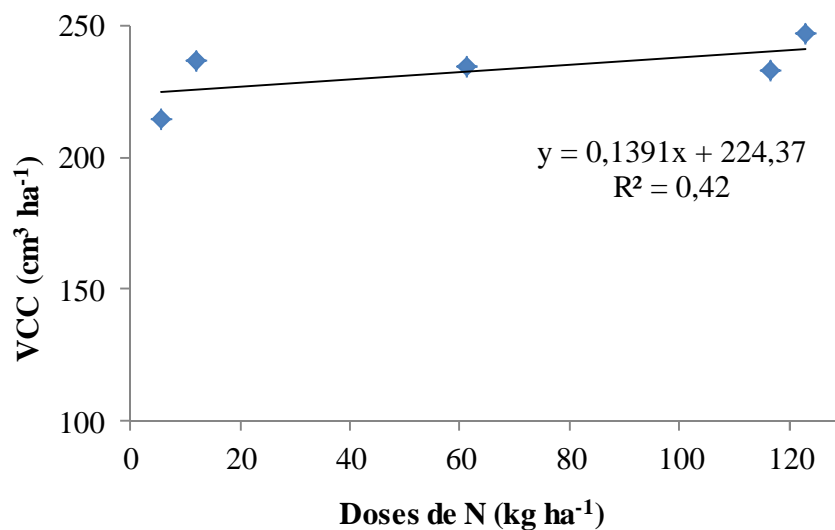


Figura 20 Volume com casca do clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, aos seis anos de idade, em função das doses de nitrogênio

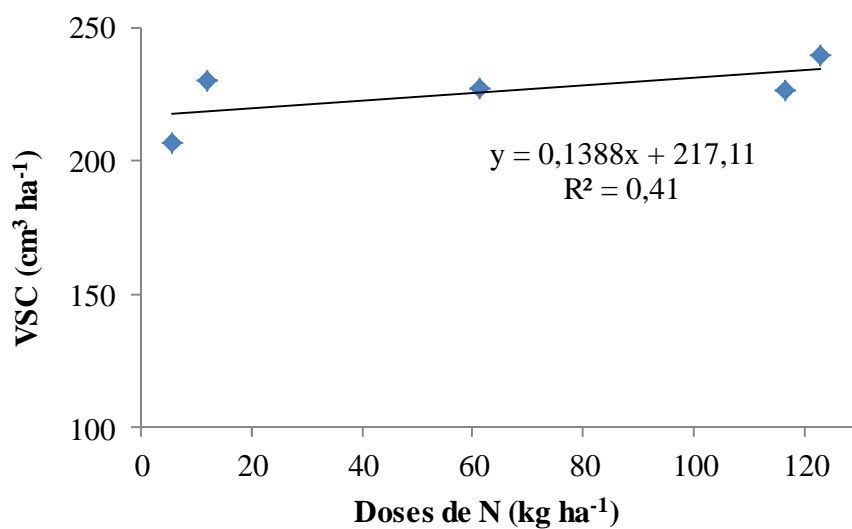


Figura 21 Volume sem casca do clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, aos seis anos de idade, em função das doses de nitrogênio

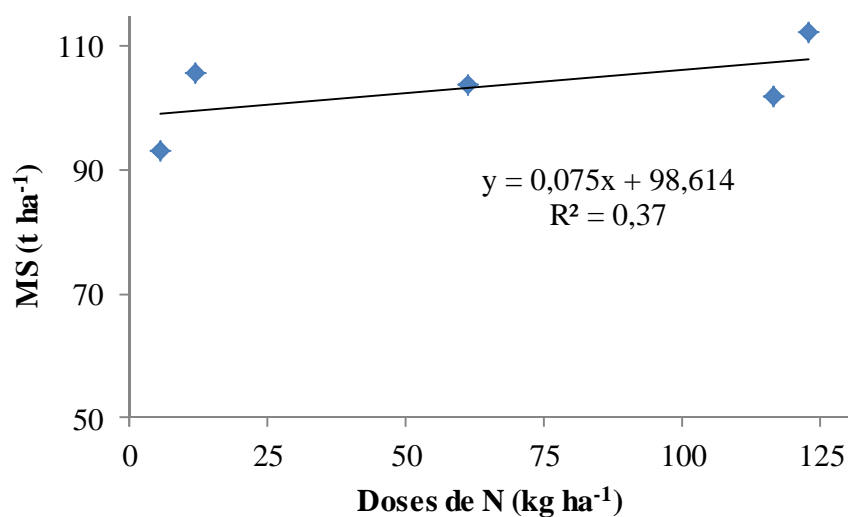


Figura 22 Massa seca do clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, aos seis anos de idade, em função das doses de nitrogênio

#### 4.3.1.2 Avaliação das características químicas e energéticas da madeira

O resumo da análise de variância realizada para as características químicas e energéticas da madeira pode ser observado na Tabela 2C (ANEXO C). Verifica-se que o efeito da fertilização potencial não afetou nenhuma das características avaliadas, a 5% de probabilidade e que os coeficientes de variação encontrados foram baixos.

Na Tabela 38 estão os valores médios e o teste de comparação múltipla para a composição química e energética da madeira. Verifica-se que, de modo geral, houve um aumento do teor de extrativos e redução do teor de lignina em relação aos valores encontrados na fertilização nitrogenada (Tabela 14) e na fosfatada (Tabela 20). Estes valores estão de acordo com os resultados encontrados nos trabalhos de Oliveira et al. (2012), Reis et al. (2012) e Neves et

al. (2011), exceto para os teores de extrativos totais e poder calorífico superior da madeira, que foram mais elevados.

Tabela 38 Valores médios e teste de comparação múltipla para os teores de extrativos totais, lignina total, cinzas e poder calorífico superior da madeira

Tratamentos	Características			
	TET	TLT	TCz	PCSm
1	11,98 a	31,32 a	0,275 a	4612 a
2	12,11 a	32,84 a	0,327 a	4663 a
3	11,76 a	31,20 a	0,255 a	4631 a
4	11,80 a	31,05 a	0,370 a	4677 a
5	12,72 a	29,96 a	0,352 a	4697 a

TET: teor de extrativos totais (%); TLT: teor de lignina total (%); TCz: teor de cinzas (%); PCSm: poder calorífico superior da madeira; (cal g<sup>-1</sup>). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

#### 4.3.1.3 Avaliação da composição química elementar da madeira

Na Tabela 3C (ANEXO C) encontra-se o resumo da análise de variância realizada para as características elementares da madeira. Verifica-se que o efeito da fertilização não apresentou diferenças estatísticas, a 5% de probabilidade, em nenhuma das características analisadas. Devem-se observar também os baixos coeficientes de variação encontrados.

Os resultados observados para estas características assemelham-se aos dos experimentos com fertilização nitrogenada (Tabela15) e fosfatada (Tabela 21), porém, o teor de nitrogênio foi menor que na fertilização nitrogenada e fosfatada somada à adubação complementar e maior que a fosfatada inicial de plantio.

Na Tabela 39 é possível os valores médios e o teste de comparação múltipla para a composição química elementar da madeira. Os valores

encontrados para as demais características estão de acordo com os relatados por Neves et al. (2011), Paula et al. (2011), Protásio et al. (2011a) e Oliveira et al. (2010).

Tabela 39 Valores médios e teste de comparação múltipla para os teores de nitrogênio, carbono, hidrogênio e oxigênio da madeira

Tratamentos	Características			
	N	C	H	O
1	0,71 a	47,23 a	6,19 a	45,86 a
2	0,75 a	46,95 a	6,18 a	46,11 a
3	0,67 a	46,97 a	6,16 a	46,19 a
4	0,65 a	47,19 a	6,16 a	45,98 a
5	0,62 a	46,93 a	6,08 a	46,35 a

N: nitrogênio (%); C: carbono (%); H: hidrogênio (%); O: oxigênio (%); médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

#### 4.3.1.4 Avaliação dimensões das fibras da madeira

Observa-se, na Tabela 4C (ANEXO C), o resumo da análise de variância realizada para as dimensões das fibras da madeira. Verifica-se que não ocorreram diferenças significativas, a 5% de probabilidade, para nenhuma das características avaliadas e que os coeficientes de variação encontrados foram baixos.

Na Tabela 40 estão discriminados os valores médios e o teste de comparação múltipla para as características das dimensões das fibras da madeira, observando-se que ocorreram ligeiros aumentos nestas características, com a fertilização adotada, em relação aos valores da adubação nitrogenada (Tabela 16). Apesar de não ocorrer diferenças significativas entre os tratamentos, estas variações podem ser devido às interações das quantidades dos diferentes nutrientes presentes nesta fertilização. Os valores encontrados estão



de acordo com Sette Junior et al. (2012) e Oliveira et al. (2012), que estudaram os parâmetros quantitativos da anatomia da madeira de *Eucalyptus grandis*, que cresceu em diferentes locais. Somente o comprimento das fibras foi superior aos encontrados neste estudo.

Tabela 40 Valores médios e teste de comparação múltipla para comprimento da fibra, largura da fibra, diâmetro do lume e espessura da parede da fibra da madeira

Tratamentos	Características			
	Compf	Largf	Diâmlume	Espf
1	849,16 a	17,02 a	9,03 a	3,93 a
2	826,63 a	17,60 a	10,75 a	3,47 a
3	818,33 a	16,89 a	10,05 a	3,42 a
4	822,14 a	17,99 a	9,81 a	4,08 a
5	830,17 a	17,62 a	10,00 a	3,81 a

Compf: comprimento da fibra ( $\mu\text{m}$ ); Largf: largura da fibra ( $\mu\text{m}$ ); Diâmlume: diâmetro do lume: ( $\mu\text{m}$ ); Espf: espessura da parede da fibra ( $\mu\text{m}$ ). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

#### 4.3.1.5 Avaliação dos rendimentos gravimétricos e da densidade relativa aparente do carvão vegetal

O resumo da análise de variância realizada para os rendimentos gravimétricos e a densidade relativa aparente do carvão vegetal pode ser observado na Tabela 5C (ANEXO C). Verifica-se que somente a densidade relativa aparente apresentou diferenças significativas, a 5% de probabilidade, e que foram baixos os coeficientes de variação encontrados.

Na Tabela 41 estão os valores médios e o teste de comparação múltipla para os rendimentos gravimétricos e a densidade relativa aparente do carvão vegetal. Verifica-se que os tratamentos 4 e 5 apresentaram um aumento nos

valores para as características avaliadas. Entretanto, estes tratamentos referem-se às menores dosagens de nitrogênio aplicadas neste experimento.

Os valores encontrados estão de acordo com os observados na literatura. Assis et al. (2012), que estudaram a qualidade e o rendimento em carvão de um clone híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em diferentes idades, espaçamentos e locais de plantio. Os autores encontraram valores médios de rendimento gravimétrico de 33,63% e densidade relativa aparente de 0,340 g cm<sup>-3</sup>. Trugilho et al. (2005), trabalhando com seis clones de híbridos de *Eucalyptus* aos 7 anos de idade, constataram uma variação de 35,95% a 40,24% no rendimento gravimétrico em carvão vegetal, valores superiores aos encontrados neste trabalho, que devem estar associados aos diferentes tipos de materiais (clones) avaliados e aos locais de plantio. Geralmente, são encontrados na literatura valores de densidade relativa aparente do carvão vegetal de clones e espécies de *Eucalyptus* variando de 0,266 g cm<sup>-3</sup> a 0,351 g cm<sup>-3</sup> (BOTREL et al., 2007; NEVES et al., 2011; SANTOS et al., 2011).

Considerando-se os aspectos produtivos é de suma importância obter elevado rendimento gravimétrico em carvão vegetal, devido ao maior aproveitamento da madeira nos fornos de carbonização e, conseqüentemente, maior produção de energia (NEVES et al., 2011, PROTÁSIO et al., 2011b). Na Figura 23 observa-se a tendência observada de comportamento quadrático para densidade relativa aparente do carvão vegetal. Derivando-se a função quadrática, observa-se que a aplicação da dosagem otimizada de 65 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio proporcionará uma densidade máxima de 0,411 g cm<sup>-3</sup>. Verifica-se que ela é negativa definida e, portanto, possui ponto de máximo.

Tabela 41 Valores médios e teste de comparação múltipla para o rendimento gravimétrico em carvão, líquido pirolenhoso, carbono fixo e densidade relativa aparente do carvão vegetal

Tratamentos	Características			
	RGC	RLP	RCF	DRA
1	34,01 a	46,42 a	24,75 a	0,373 a b
2	34,00 a	43,43 a	25,10 a	0,371 a b
3	33,17 a	45,99 a	24,76 a	0,356 a
4	34,06 a	48,98 a	25,33 a	0,387 a b
5	34,49 a	47,01 a	25,42 a	0,409 b

RGC: rendimento gravimétrico do carvão (%); RLP: rendimento em líquido pirolenhoso (%); RCF: rendimento em carbono fixo (%); DRA: densidade relativa aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ ). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

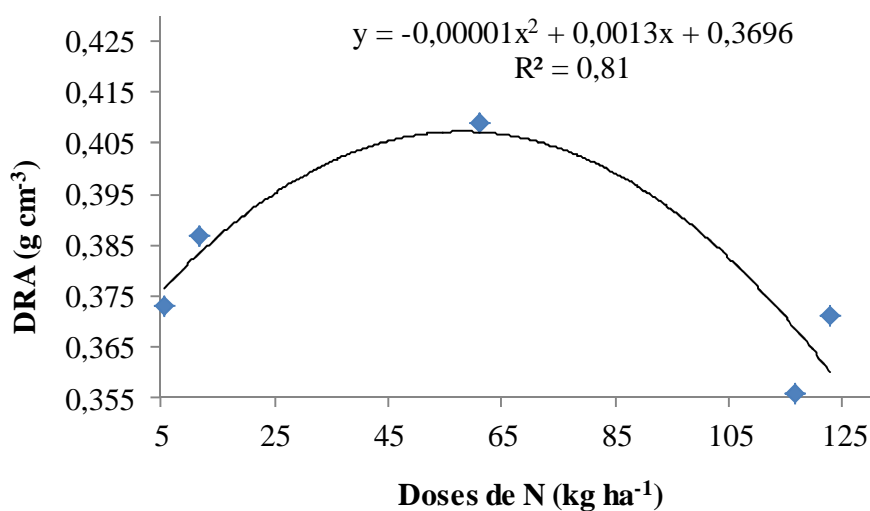


Figura 23 Densidade relativa aparente do *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, aos seis anos de idade, em função das doses de nitrogênio

#### 4.3.1.6 Avaliação das características químicas e energéticas do carvão vegetal

Na Tabela 6C (ANEXO C) observa-se o resumo da análise de variância realizada para as características químicas e energéticas do carvão vegetal. Verifica-se que o efeito de tratamento não afetou nenhuma das características analisadas, a 5% de probabilidade e que os coeficientes de variação encontrados foram baixos.

Na Tabela 42 encontram-se os valores médios e o teste de comparação múltipla para as características químicas e energéticas do carvão vegetal. Verifica-se que, apesar de não haver diferenças estatísticas entre os tratamentos, o tratamento 3 foi o que apresentou maiores valores para todas as características analisadas, exceto para o teor de materiais voláteis. Os valores encontrados neste estudo estão em conformidade com os encontrados nos trabalhos de Reis et al. (2012), Neves et al. (2011) e Santos et al. (2011).

Tabela 42 Valores médios e teste de comparação múltipla para os teores de materiais voláteis, cinzas, carbono fixo e poder calorífico superior do carvão vegetal

Tratamentos	Características			
	TMV	TCz	TCF	PCSc
1	26,80 a	0,492 a	72,70 a	7353 a
2	25,69 a	0,500 a	73,80 a	7493 a
3	24,92 a	0,505 a	74,65 a	7554 a
4	25,11 a	0,382 a	74,50 a	7440 a
5	25,95 a	0,365 a	73,72 a	7330 a

TMV: teor de materiais voláteis (%); TCz: teor de cinzas (%); TCF: teor em carbono fixo (%); PCSc: poder calorífico superior do carvão ( $\text{cal g}^{-1}$ ). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey

### **4.3.2 Avaliação inicial considerando a adubação complementar**

#### **4.3.2.1 Características de crescimento, densidade básica e estimativa de massa seca**

Na Tabela 7C (ANEXO C) encontra-se o resumo da análise de variância realizada para as características de crescimento, densidade básica média e estimativa de massa seca da madeira. Verifica-se que somente a densidade básica foi não significativa estatisticamente, a 5% de probabilidade. Entretanto, a aplicação da adubação complementar afetou as características de crescimento e a estimativa de massa seca da madeira. Observa-se que foram encontrados baixos coeficientes de variação para as características analisadas.

Na Tabela 43 estão os valores médios e o teste de comparação múltipla para as características analisadas. Verifica-se que o tratamento 2 foi o que apresentou maiores valores para as características de crescimento e produção de massa seca. Porém, os valores encontrados após a adubação complementar foram inferiores aos encontrados para os tratamentos iniciais (Tabela 37), tendo somente a densidade básica da madeira apresentado ligeiros aumentos com a adubação complementar. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Santos et al. (2011) e Trugilho (2001), que trabalharam com clones de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal aos sete anos de idade. Porém, os valores encontrados para densidade básica da madeira foram superiores aos encontrados neste trabalho, devido à diferença de material genético.

Considerando os efeitos das doses de nitrogênio nas características de crescimento da árvore e estimativa de massa seca, verificou-se uma tendência observada de comportamento linear para as características avaliadas (Figuras 24, 25, 26 e 27).

Tabela 43 Valores médios e teste de comparação múltipla para DAP, volume com casca, volume sem casca, densidade básica média e estimativa de massa seca da madeira

Tratamentos	Características				
	Dap	VCC	VSC	DBm	MS
1	14,40 a	172,93 a	164,16 a	0,473 a	77,68 a
2	15,70 c	228,06 c	220,47 c	0,480 a	105,88 c
3	15,16 b	209,02 b	200,61 b	0,488 a	97,95 b
4	15,16 b	205,45 b	197,81 b	0,476 a	94,11 b
5	15,30 b	212,46 b	204,42 b	0,471 a	96,35 b

DAP: diâmetro à altura do peito (cm); VCC: volume com casca ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ); VSC: volume sem casca ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ); DBm: densidade básica média ( $\text{g cm}^{-3}$ ); MS: massa seca ( $\text{t ha}^{-1}$ ). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

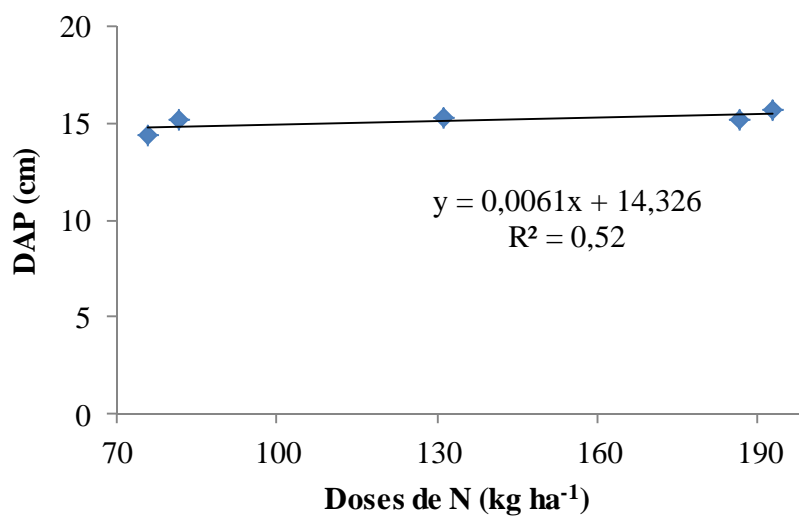


Figura 24 DAP do clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, aos seis anos de idade, em função das doses de nitrogênio

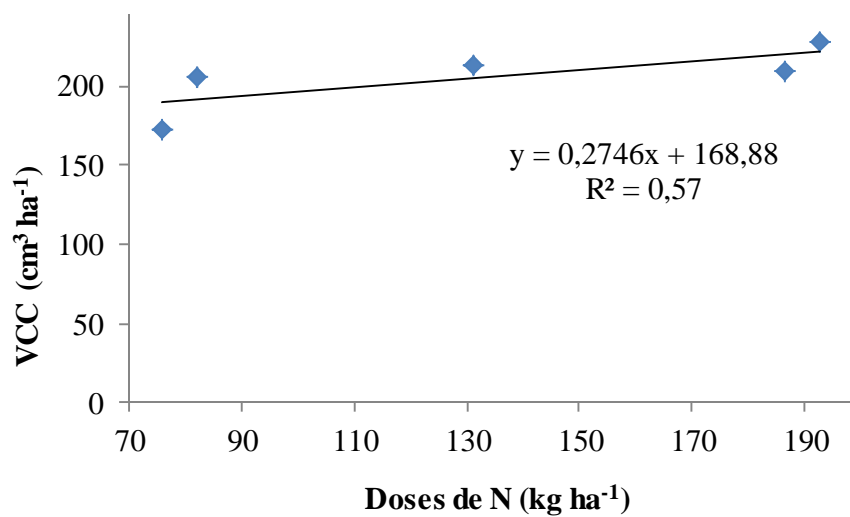


Figura 25 Volume com casca do clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, aos seis anos de idade, em função das doses de nitrogênio

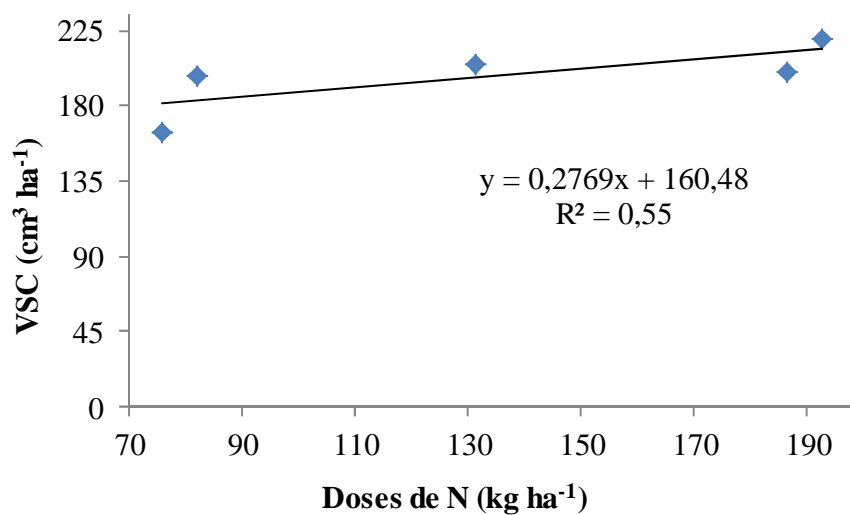


Figura 26 Volume sem casca do clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, aos seis anos de idade, em função das doses de nitrogênio

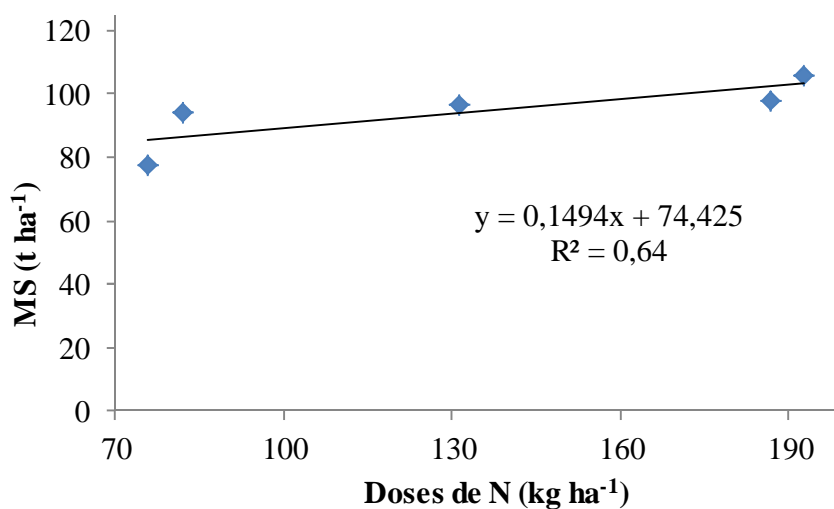


Figura 27 Massa seca do clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, aos seis anos de idade, em função das doses de nitrogênio

#### 4.3.2.2 Avaliação das características químicas e energéticas da madeira

Na Tabela 8C (ANEXO C) encontra-se o resumo da análise de variância realizada para as características química e energética da madeira. Verifica-se que o efeito de tratamento após a adubação complementar não afetou nenhuma das características analisadas, a 5% de probabilidade e, também, que os coeficientes de variação encontrados foram baixos.

Na Tabela 44 estão os valores médios e o teste de comparação múltipla para as características químicas e energéticas da madeira. Verifica-se que os tratamentos após a adubação complementar apresentaram ligeira redução para o teor de lignina, cinzas e poder calorífico superior da madeira, e ligeiro aumento para o teor de extrativos totais, em relação à fertilização inicial de plantio (Tabela 38). Trugilho et al. (2001) encontraram teores de lignina total de 29,1% a 34,2%, para *Eucalyptus grandis*, sendo estes valores correspondentes



aos obtidos neste estudo. Santos (2010) também encontrou teores similares de lignina total para três clones de híbridos de *E. urophylla* x *E. grandis* e um híbrido de *E. camaldulensis* x *E. grandis*, variando de 30,0% a 34,0%. Os valores encontrados neste trabalho para o teor de extrativos totais são superiores aos resultados encontrados por estes autores, no entanto, este aumento deve estar relacionado à interação dos diversos nutrientes presentes na fertilização utilizada.

Tabela 44 Valores médios e teste de comparação múltipla para os teores de extrativos totais, lignina total, cinzas e poder calorífico superior da madeira

Tratamentos	Características			
	TET	TLT	TCz	PCSm
1	12,33 a	31,12 a	0,257 a	4622 a
2	12,96 a	32,05 a	0,300 a	4667 a
3	11,98 a	32,23 a	0,270 a	4630 a
4	12,72 a	32,41 a	0,277 a	4647 a
5	12,35 a	32,32 a	0,255 a	4688 a

TET: teor de extrativos totais (%); TLT: teor de lignina total (%); TCz: teor de cinzas (%); PCSm: poder calorífico superior da madeira; (cal g<sup>-1</sup>). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

#### 4.3.2.3 Avaliação da composição química elementar da madeira

O resumo da análise de variância realizada para as características elementares da madeira pode ser observado na Tabela 9C (ANEXO C). Verifica-se que estes tratamentos não apresentaram diferenças significativas, a 5% de probabilidade, após a adubação complementar. Observam-se os baixos coeficientes de variação encontrados para as características de carbono,

hidrogênio e oxigênio, porém, o nitrogênio apresentou alto coeficiente de variação.

Na Tabela 45 observam-se os valores médios e o teste de comparação múltipla para a composição química elementar da madeira, podendo-se constatar que o tratamento 2 foi o que apresentou maiores valores, para todas as características, exceto para o nitrogênio. Observa-se também que ocorreram redução nos valores encontrados para o nitrogênio após a adubação complementar e leve aumento para o teor de carbono fixo. Arantes (2009), estudando a variabilidade existente nas características da madeira de um híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, aos seis anos de idade, encontrou valores entre 0,13% e 0,23%, inferiores aos encontrados neste estudo. Devido às correlações existentes entre os componentes elementares e o poder calorífico, é desejável que a madeira apresente altos teores de carbono e hidrogênio e baixos teores de oxigênio e nitrogênio, quando esta for destinada à produção de bioenergia (PROTÁSIO et al., 2011b).

Tabela 45 Valores médios e teste de comparação múltipla para os teores de nitrogênio, carbono, hidrogênio e oxigênio

Tratamentos	Características			
	N	C	H	O
1	0,45 a	47,30 a	6,19 a	0,25 a
2	0,57 a	47,49 a	6,23 a	0,30 a
3	0,53 a	47,29 a	6,18 a	0,27 a
4	0,64 a	47,31 a	6,11 a	0,27 a
5	0,60 a	47,42 a	6,16 a	0,25 a

N: nitrogênio (%); C: carbono (%); H: hidrogênio (%); O: oxigênio (%). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

#### 4.3.2.4 Avaliação das dimensões das fibras da madeira

Na Tabela 10C (ANEXO C) observa-se o resumo da análise de variância realizada para as características dimensionais das fibras da madeira, sendo possível verificar que o efeito de tratamento foi significativo para a largura de fibra e a largura do lume. O comprimento e a espessura da parede das fibras não apresentaram diferenças significativas, a 5% de probabilidade e os coeficientes de variação encontrados foram baixos.

Na Tabela 46 observam-se os valores médios e o teste de comparação múltipla para as dimensões das fibras da madeira. Verifica-se que o tratamento 2 continua apresentado um ligeiro aumento para o comprimento das fibras e menores valores para as demais características. Sette Junior et al. (2009), estudando o efeito da fertilização na variação da densidade básica e dimensões das fibras de *Eucalyptus grandis*, encontraram valores entre 980  $\mu\text{m}$  e 999  $\mu\text{m}$ , para parcelas adubadas e não adubadas e 4,95  $\mu\text{m}$  e 3,63  $\mu\text{m}$ , para espessura de fibra, valores superiores aos encontrados neste trabalho.

Tabela 46 Valores médios e teste de comparação múltipla para o comprimento da fibra, largura da fibra, diâmetro do lume e espessura da parede da fibra da madeira

Tratamentos	Características			
	Compf	Largf	Diâmlume	Espf
1	823,49 a	18,09 b c	10,98 a b	3,55 a
2	855,48 a	16,56 a	9,30 a	3,63 a
3	800,59 a	18,60 c	11,46 b	3,59 a
4	832,94 a	17,07 ab	9,57 a b	3,75 a
5	834,08 a	18,11 bc	10,86 a b	3,62 a

Compf: comprimento da fibra ( $\mu\text{m}$ ); Largf: largura da fibra ( $\mu\text{m}$ ); Diâmlume: diâmetro do lume ( $\mu\text{m}$ ); Espf: espessura da parede da fibra ( $\mu\text{m}$ ). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

#### **4.3.2.5 Avaliação dos rendimentos gravimétricos e da densidade relativa aparente do carvão vegetal**

O resumo da análise de variância realizada para os rendimentos e a densidade relativa aparente do carvão vegetal encontra-se na Tabela 11C (ANEXO C). Verifica-se que a fertilização utilizada não apresentou diferenças significativas, a 5% de probabilidade, para nenhuma das características avaliadas. Observam-se também os baixos coeficientes de variação encontrados, com exceção do rendimento em líquido pirolenhoso, que apresentou alto coeficiente de variação.

Na Tabela 47 é possível observar os valores médios e o teste de comparação múltipla para os rendimentos e a densidade relativa aparente do carvão vegetal. Observa-se que, apesar da não significância, o tratamento 2, referente à maior dosagem de nitrogênio, foi o que apresentou os melhores resultados para todas as características avaliadas. Neves et al. (2011), estudando clones comerciais de *Eucalyptus* em diferentes locais, encontraram rendimento gravimétrico médio em carvão vegetal de 32% e Frederico (2009), estudando *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 3 anos, encontrou rendimentos gravimétricos em carvão vegetal de 28,36% a 31,60%, inferiores aos encontrados neste trabalho. Quanto aos rendimentos em líquido pirolenhoso, Assis et al. (2012) encontraram médias de 39,52% e 25,09%, para o teor de carbono fixo e densidade relativa aparente variando de 0,307 g cm<sup>-3</sup> a 0,340 g cm<sup>-3</sup> aos deste trabalho. De modo geral, é possível observar que os valores médios obtidos neste trabalho foram maiores aos encontrados na literatura, o que pode estar relacionado à adubação utilizada.

Tabela 47 Valores médios e teste de comparação múltipla para o rendimento gravimétrico em carvão, líquido pirolenhoso, carbono fixo e densidade relativa aparente do carvão vegetal

Tratamentos	Características			
	RGC	RLP	RCF	DRA
1	34,20 a	42,53 a	24,76 a	0,410 a
2	34,81 a	47,21 a	25,24 a	0,414 a
3	33,81 a	45,13 a	24,81 a	0,382 a
4	34,48 a	40,56 a	25,07 a	0,392 a
5	34,43 a	41,84 a	25,21 a	0,386 a

RGC: rendimento gravimétrico do carvão (%); RLP: rendimento em líquido pirolenhoso (%); RCF: rendimento em carbono fixo (%); DRA: densidade relativa aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ ). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

#### 4.3.2.6 Avaliação das características químicas e energéticas do carvão vegetal

Na Tabela 12C (ANEXO C) observa-se o resumo da análise de variância realizada para as características químicas e energéticas do carvão vegetal. Verifica-se que efeito de tratamento não influenciou nenhuma das características avaliadas, a 5% de probabilidade. Nota-se que ocorreram baixos coeficientes de variação para os teores de materiais voláteis, carbono fixo e poder calorífico da madeira e alto coeficiente de variação para o teor de cinzas.

Na Tabela 48 estão os valores médios e o teste de comparação múltipla para as características químicas e energéticas do carvão vegetal. Verifica-se que o tratamento 4 apresentou alto teor de cinzas e baixo poder calorífico em relação aos demais. No entanto, aspectos relacionados à fertilização do solo e à nutrição/adubação de plantio podem influenciar o teor de minerais presentes na madeira e, conseqüentemente, o carvão vegetal (TRUGILHO et al., 1997; ANDRADE et al., 2006). Além disso, alto teor de cinzas resulta na diminuição

do poder calorífico do combustível (BRAND, 2010). Os valores encontrados estão de acordo com os relatados no trabalho de Reis et al. (2012). O teor de carbono fixo encontrado por Assis et al. (2012) resultou do trabalho com um clone híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em diferentes idades, espaçamentos e locais de plantio, variando de 79,16% a 79,92% e teores de cinzas de 0,55% a 1,56%, maiores que os encontrados neste estudo.

Tabela 48 Valores médios e teste de comparação múltipla para os teores de materiais voláteis, cinzas, carbono fixo e poder calorífico superior do carvão vegetal

Tratamentos	Características			
	TMV	TCz	TCF	PCSc
1	27,19 a	0,40 a	72,42 a	7421 a
2	27,12 a	0,31 a	72,56 a	7319 a
3	26,28 a	0,32 a	73,39 a	7391 a
4	26,79 a	0,48 a	72,88 a	7293 a
5	26,41 a	0,35 a	73,26 a	7339 a

TMV: teor de materiais voláteis (%); TCz: teor de cinzas (%); TCF: teor em carbono fixo (%); PCSc: poder calorífico superior do carvão ( $\text{cal g}^{-1}$ ). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

### 4.3.3 Avaliação considerando a adubação inicial somado a adubação complementar

#### 4.3.3.1 Características de crescimento, densidade básica e estimativa de massa seca

O resumo da análise de variância realizada para as características de crescimento, densidade básica e estimativa de massa seca da madeira está disponível na Tabela 13C (ANEXO C), sendo possível verificar que o efeito de

tratamento foi significativo para todas as características avaliadas, a 5% de probabilidade e que os coeficientes de variação foram de baixa magnitude.

Os valores médios e o teste de comparação múltipla para as características de crescimento, densidade básica média e estimativa de massa seca da madeira podem ser observados na Tabela 49. Observa-se que, quando analisam-se os dados em conjunto, constata-se que o aumento da aplicação da adubação complementar provocou uma redução para todas as características, com exceção da densidade básica da madeira. Os valores encontrados foram similares aos encontrados no trabalho de Trugilho (2009), que avaliou a densidade básica estimativa de massa seca e de lignina na madeira em nove espécies de *Eucalyptus*, em diferentes idades. Os gráficos das Figuras 28, 29, 30, 31 e 32 mostram uma tendência observada de comportamento linear da dosagem de nitrogênio para as características do DAP, volume com casca, volume sem casca, densidade básica média e estimativa de massa seca aplicadas nos tratamentos. A equação ajustada não define a influência das doses de nitrogênio aplicadas nos tratamentos. Portanto, o comportamento observado entre as doses aplicadas pode ser devido à interação de outros nutrientes envolvidos na adubação utilizada.

Tabela 49 Valores médios e teste de comparação múltipla para as características de crescimento, densidade básica e estimativa de massa seca da madeira

Tratamentos	Características					
	DAP	VCC	VSC	DBm	MS	
Inicial	1	15,38 a	214,38 b	206,81 b	0,451 a	93,22 b
	2	16,09 c	247,28 c	239,80 c	0,467 b	112,20 c
	3	15,77 c	233,09 c	226,06 c	0,451 a	102,09 c
	4	15,88 c	236,96 c	230,11 c	0,458 a	105,58 c
	5	15,92 c	234,44 c	227,00 c	0,457 a	103,86 c
Inicial + complementar	1	14,40 a	172,93 a	164,16 a	0,457 a	77,68 a
	2	15,70 c	228,06 c	220,47 c	0,480 b	105,87 c
	3	15,16 b	209,02 b	200,61 b	0,488 b	97,94 b
	4	15,16 b	205,45 b	197,81 b	0,476 b	94,11 b
	5	15,30 b	212,46 b	204,42 b	0,471 b	96,34 b

DAP: diâmetro à altura do peito (cm); VCC: volume com casca ( $m^3 ha^{-1}$ ); VSC: volume sem casca ( $m^3 ha^{-1}$ ); DBm: densidade básica média ( $g cm^{-3}$ ); MS: massa seca ( $t ha^{-1}$ ). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott

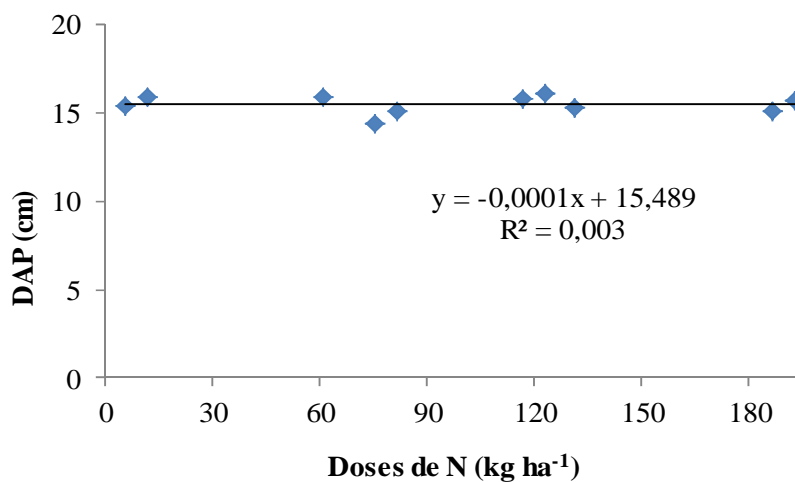


Figura 28 DAP do clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, aos seis anos de idade, em função das doses de nitrogênio



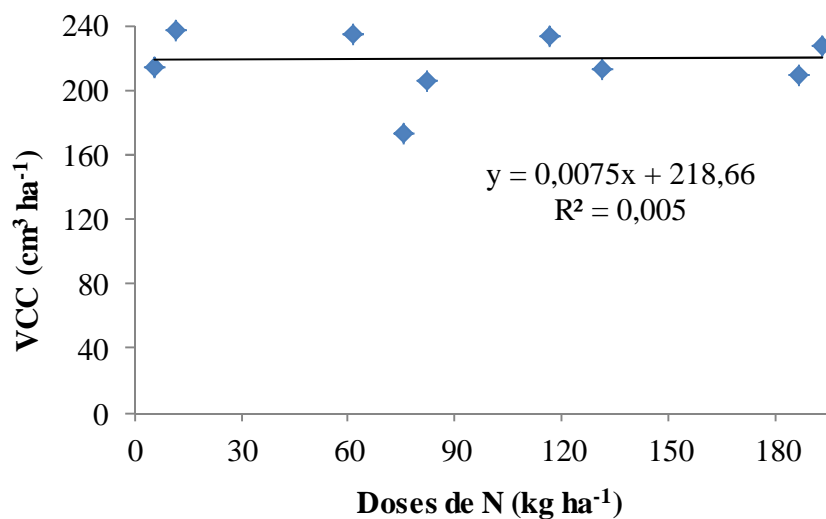


Figura 29 Volume com casca do clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, aos seis anos de idade, em função das doses de nitrogênio

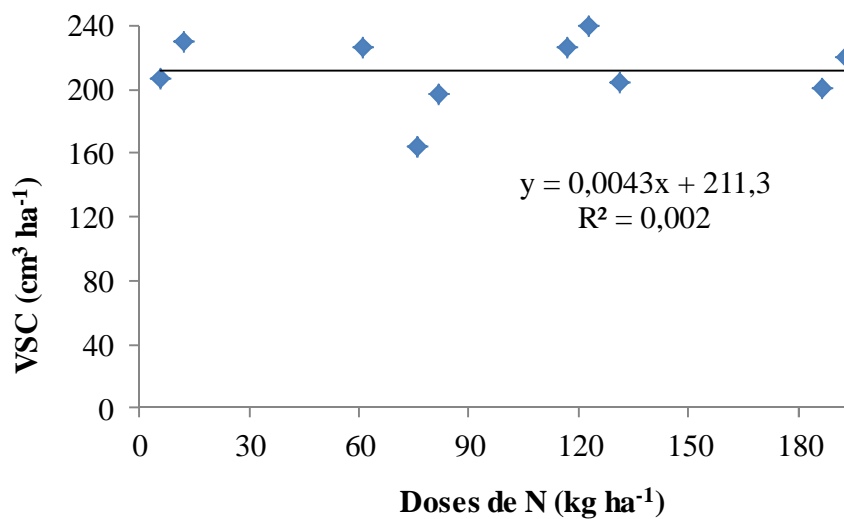


Figura 30 Volume sem casca do clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, aos seis anos de idade, em função das doses de nitrogênio

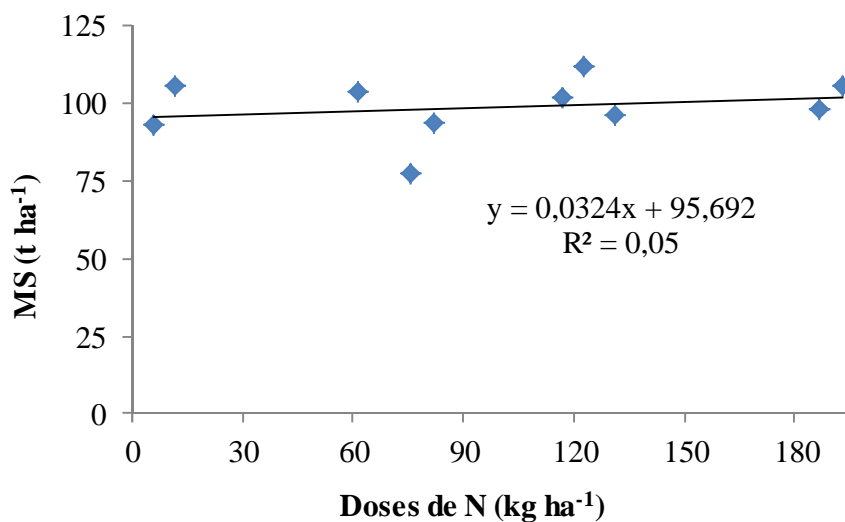


Figura 31 Massa seca do clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, aos seis anos de idade, em função das doses de nitrogênio

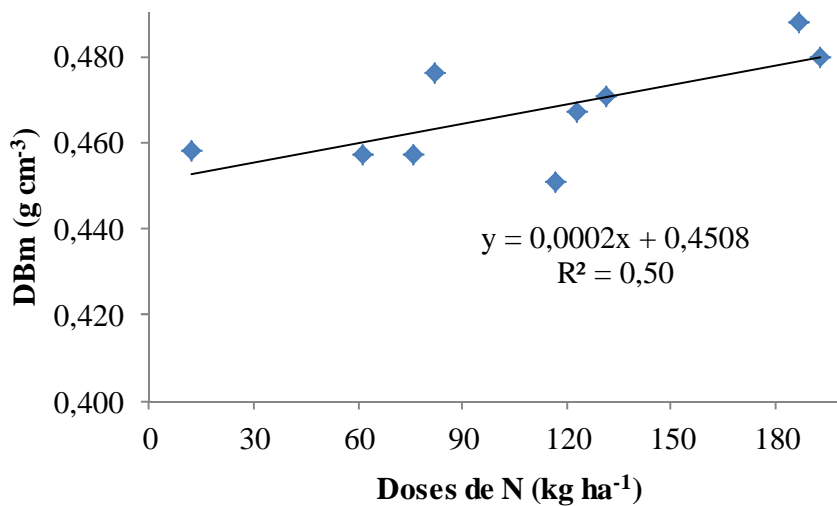


Figura 32 Densidade básica da madeira do clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, aos seis anos de idade, em função das doses de nitrogênio

#### 4.3.3.2 Avaliação das características químicas e energéticas da madeira

Na Tabela 14C (ANEXO C) é possível observar o resumo da análise da variância realizada para as características químicas e energéticas da madeira. Verifica-se que o efeito da fertilização potencial não afetou nenhuma das características analisadas, a 5% de probabilidade e que os coeficientes de variação encontrados foram baixos.

Os valores médios e o teste de comparação múltipla, para as características química e energética da madeira, encontram-se na Tabela 50. Observa-se que a adubação complementar não provocou modificação nas características químicas e energéticas, comparada à fertilização inicial de plantio, demonstrando que foi um desperdício de recursos na iniciativa de tratamentos.

Os valores de lignina encontrados estão em conformidade com os relatados por Gomide et al. (2005), que variaram de 27,50% a 31,70%, para clones de *Eucalyptus*. Bassa, Silva Junior e Sacon (2007), trabalhando com híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com sete anos de idade, encontraram, para as propriedades teores de lignina total e extrativos totais, valores de 28,5% e 2,5%. Andrade et al. (2011) relataram valores de 24,5% para o teor de lignina e 5,2% para o teor de extrativos totais, também inferiores aos encontrados neste estudo.

Tabela 50 Valores médios e teste de comparação múltipla para os teores de extrativos totais, lignina total, cinzas e poder calorífico superior da madeira

Tratamentos	Características				
	TET	TLT	TCz	PCSm	
Inicial	1	11,98 a	31,32 a	0,275 a	4712 a
	2	12,11 a	32,84 a	0,327 a	4663 a
	3	11,76 a	31,20 a	0,255 a	4731 a
	4	11,80 a	31,05 a	0,370 a	4677 a
	5	12,72 a	29,96 a	0,352 a	4697 a
Inicial + complementar	1	11,98 a	31,12 a	0,257 a	4622 a
	2	12,96 a	32,05 a	0,300 a	4667 a
	3	11,98 a	32,23 a	0,270 a	4630 a
	4	12,72 a	32,41 a	0,277 a	4647 a
	5	12,35 a	32,32 a	0,255 a	4688 a

TET: teor de extrativos totais (%); TLT: teor de lignina total (%); TCz: teor de cinzas (%); PCSm: poder calorífico superior da madeira (cal g<sup>-1</sup>). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott Knott

#### 4.3.3.3 Avaliação da composição química elementar da madeira

Na Tabela 15C (ANEXO C) é possível observar o resumo da análise de variância realizada para a composição elementar da madeira. Verifica-se que nenhuma das características avaliadas apresentou diferenças significativas, a 5% de probabilidade e que os coeficientes de variação encontrados foram baixos.

Na Tabela 51 estão discriminados os valores médios e o teste de comparação múltipla para as características elementares da madeira. Por meio desses dados é possível observar que a adubação complementar também não provocou modificação significativa nos valores dessas características, comparadas à fertilização inicial de plantio.

Independente da espécie, a composição química elementar da madeira de *Eucalyptus*, em base seca, é de, aproximadamente, 48% de carbono, 6% de hidrogênio, 45% de oxigênio, 0,15% de nitrogênio e 0,01% de enxofre (NEVES et al., 2011; PAULA et al., 2011; PROTÁSIO et al., 2011a; OLIVEIRA et al., 2010; BARCELLOS et al., 2005), corroborando os valores encontrados neste estudo. Somente os valores encontrados para o nitrogênio foram superiores aos encontrados na literatura, que devem estar associados às fertilizações utilizadas.

Tabela 51 Valores médios e o teste de comparação múltipla para os teores de nitrogênio, carbono, hidrogênio e oxigênio da madeira

Tratamentos	Características				
	N	C	H	O	
Inicial	1	0,71 a	47,23 a	6,19 a	45,86 a
	2	0,75 a	46,95 a	6,18 a	46,11 a
	3	0,67 a	46,97 a	6,16 a	46,19 a
	4	0,65 a	47,19 a	6,16 a	45,98 a
	5	0,62 a	46,93 a	6,08 a	46,35 a
Inicial + complementar	1	0,45 a	47,30 a	6,19 a	45,83 a
	2	0,45 a	47,49 a	6,23 a	45,70 a
	3	0,53 a	47,29 a	6,18 a	45,99 a
	4	0,64 a	47,31 a	6,11 a	45,93 a
	5	0,60 a	47,42 a	6,16 a	45,81 a

N: nitrogênio (%); C: carbono (%); H: hidrogênio (%); O: oxigênio (%). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott Knott

#### 4.3.3.4 Avaliação das dimensões das fibras da madeira

Na Tabela 16C (ANEXO C) observam-se os dados relativos ao resumo da análise de variância para as dimensões das fibras da madeira. Verifica-se que o efeito das fertilizações utilizadas não apresentou diferenças significativas, a 5% de probabilidade, para nenhuma das características avaliadas. Observa-se também que o comprimento das fibras, a largura das fibras e o diâmetro do lume apresentaram baixos coeficientes de variação, tendo somente a espessura da parede da fibra apresentado coeficiente de variação mais elevado.

Na Tabela 52 estão discriminados os valores médios e o teste de comparação múltipla para as dimensões das fibras da madeira. Verifica-se que o tratamento 2, após a adubação complementar, foi que apresentou fibras de maior comprimento com menor largura, diâmetro do lume e espessura da parede. Sette Junior et al. (2009) encontraram valores para a largura das fibras de 17,38  $\mu\text{m}$  a 19,09  $\mu\text{m}$ , para as árvores adubadas com potássio e 16,63  $\mu\text{m}$  a 19,28  $\mu\text{m}$ , para as árvores adubadas com sódio. Para as mesmas árvores, foram encontrados também valores para o diâmetro do lume de 9,60  $\mu\text{m}$  a 11,25  $\mu\text{m}$ , para as adubadas com potássio e de 9,61  $\mu\text{m}$  a 12  $\mu\text{m}$ , para as adubadas com sódio. Para a espessura da parede da fibra foram encontrados valores de 3,73  $\mu\text{m}$  a 3,92  $\mu\text{m}$ , para árvores adubadas com potássio e 3,51  $\mu\text{m}$  a 3,64  $\mu\text{m}$ , para as adubadas com sódio, valores estes compatíveis com os encontrados neste estudo. O comprimento das fibras apresentou valores, de modo geral, inferiores aos encontrados neste trabalho.

Tabela 52 Valores médios e teste e comparação múltipla para o comprimento da fibra, largura da fibra, diâmetro do lume e espessura da parede fibra da madeira

Tratamentos	Características				
	Compf	Largf	Diâmlume	Espf	
Inicial	1	849,16 a	17,02 a	9,03 a	3,93 a
	2	826,63 a	17,60 a	10,75 a	3,47 a
	3	818,33 a	16,89 a	10,05 a	3,42 a
	4	822,14 a	17,99 a	9,81 a	4,08 a
	5	830,17 a	17,62 a	10,00 a	3,81 a
Inicial + complementar	1	823,49 a	18,09 a	10,98 a	3,55 a
	2	855,48 a	16,56 a	9,30 a	3,63 a
	3	800,59 a	18,60 a	11,46 a	3,59 a
	4	832,94 a	17,07 a	9,57 a	3,75 a
	5	834,08 a	18,11 a	10,86 a	3,62 a

Compf: comprimento da fibra ( $\mu\text{m}$ ); Largf: largura da fibra ( $\mu\text{m}$ ); Diâmlume: diâmetro do lume ( $\mu\text{m}$ ); Espf: espessura da parede da fibra ( $\mu\text{m}$ ). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott Knott

#### 4.3.3.5 Avaliação dos rendimentos gravimétricos e da densidade relativa aparente do carvão vegetal

Na Tabela 17C (ANEXO C) observa-se o resumo da análise de variância para as características dos rendimentos gravimétricos e da densidade relativa aparente do carvão vegetal. Verifica-se que somente a densidade relativa aparente do carvão vegetal apresentou diferenças significativas, a 5% de probabilidade e que os coeficientes de variação encontrados foram baixos.

Na Tabela 53 estão discriminados os dados médios e o teste de comparação múltipla para as características avaliadas. Observa-se que os valores médios dos rendimentos gravimétricos não sofreram modificação em razão da fertilização complementar. Apesar desse efeito positivo, pela Figura 32, pode-se

observar que as dosagens de nitrogênio não mostraram tendência definitiva de variação. Entretanto, a densidade relativa aparente apresentou um ligeiro aumento com a aplicação da adubação complementar.

Tabela 53 Valores médios e teste de comparação múltipla para os rendimentos gravimétrico, líquido pirolenhoso, carbono fixo e densidade relativa aparente do carvão vegetal

Tratamentos	Características				
	RGC	RLP	RCF	DRA	
Inicial	1	34,06 a	46,42 a	24,75 a	0,373 a
	2	34,00 a	43,43 a	25,10 a	0,371 a
	3	33,17 a	48,98 a	24,76 a	0,356 a
	4	34,01 a	45,99 a	25,33 a	0,387 a
	5	34,49 a	47,01 a	25,42 a	0,409 b
Inicial + complementar	1	34,20 a	42,53 a	24,76 a	0,410 b
	2	34,81 a	47,21 a	25,24 a	0,414 b
	3	33,81 a	45,13 a	24,81 a	0,382 a
	4	34,48 a	40,56 a	25,07 a	0,392 a
	5	34,43 a	41,84 a	25,21 a	0,386 a

RGC: rendimento gravimétrico do carvão (%); RLP: rendimento em líquido pirolenhoso (%); RCF: rendimento em carbono fixo (%); DRA: densidade relativa aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ ). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott Knott

#### 4.3.3.6 Avaliação das características químicas e energéticas do carvão vegetal

O resumo da análise de variância para as características químicas e energéticas do carvão vegetal pode ser observado na Tabela 18C (ANEXO C). Verifica-se o que o efeito da fertilização foi não significativo para todas as características avaliadas, a 5% de probabilidade e que os coeficientes de



variação encontrados foram baixos. Somente o teor de cinzas apresentou alto coeficiente de variação.

Na Tabela 54 observam-se os valores médios e o teste de comparação múltipla para as características químicas e energéticas do carvão vegetal. Observa-se que, após a adubação complementar, os tratamentos apresentaram ligeiros aumentos para o teor de materiais voláteis e ligeira redução para as outras características. Os teores de carbono fixo observados neste estudo variaram entre 72,70% e 74,65%; os teores de materiais voláteis, entre 24,92% e 27,19% e os teores de cinzas, entre 0,31% e 0,50%. Esses valores foram semelhantes aos encontrados por Botrel et al. (2007), que avaliaram a composição química imediata do carvão de clones de *Eucalyptus* sp. Segundo Nogueira e Lora (2003), combustíveis que apresentem altos teores de carbono fixo e baixos teores de materiais voláteis tendem a queimar mais lentamente, requerendo, com isso, longo tempo de residência na fornalha para a queima total, quando comparados com combustíveis com baixo índice de carbono fixo. De modo geral, são encontrados, na literatura, teores de cinzas inferiores a 1%, para o carvão vegetal de várias espécies de *Eucalyptus* (REIS et al. 2012; LIMA et al., 2011; NEVES et al., 2011; SANTOS et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2010; BOTREL et al., 2007; TRUGILHO et al., 2001; TRUGILHO et al., 2005), corroborando os valores encontrados neste estudo.

Tabela 54 Valores médios e teste de comparação múltipla para os teores de materiais voláteis, cinzas, carbono fixo e poder calorífico superior do carvão vegetal

Tratamentos	Características				
	TMV	TCz	TCF	PCSc	
Inicial	1	26,80 a	0,49 a	72,70 a	7353 a
	2	25,69 a	0,50 a	73,80 a	7493 a
	3	24,92 a	0,50 a	74,65 a	7554 a
	4	25,11 a	0,38 a	74,50 a	7440 a
	5	25,95 a	0,36 a	73,72 a	7330 a
Inicial + complementar	1	27,19 a	0,40 a	72,42 a	7421 a
	2	27,12 a	0,31 a	72,56 a	7319 a
	3	26,28 a	0,32 a	73,39 a	7391 a
	4	26,79 a	0,46 a	72,88 a	7439 a
	5	26,41 a	0,35 a	73,26 a	7339 a

TMV: teor de materiais voláteis (%); TCz: teor de cinzas (%); TCF: teor em carbono fixo (%); PCSc: poder calorífico superior do carvão ( $\text{cal g}^{-1}$ ). Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

## 5 CONCLUSÕES

### EXPERIMENTO 1: fertilização nitrogenada

- a) A fertilização nitrogenada apresentou tendência de aumento para as características de crescimento da árvore, porém, não apresentou influência na densidade básica.
- b) O tratamento 1 apresentou o menor valor de estimativa de massa seca da madeira.
- c) Os teores de extrativos totais e lignina na madeira apresentaram altos valores com a aplicação da fertilização nitrogenada, para todos os tratamentos.
- d) A fertilização nitrogenada promoveu um aumento no teor de nitrogênio, embora não tenha apresentado influência nas dimensões das fibras da madeira.
- e) As características químicas e energéticas do carvão vegetal não apresentaram diferenças com o uso da fertilização, porém, o líquido pirolenhoso apresentou tendência de aumento entre os tratamentos.

### EXPERIMENTO 2: fertilização fosfatada

#### **Avaliação inicial sem considerar a adubação complementar**

- a) As características de crescimento não sofreram alterações em função das doses de fósforo aplicadas para todos os tratamentos, porém, o tratamento 2 apresentou tendência de aumento para a estimativa de massa seca.

- b) A densidade básica da madeira apresentou tendência de redução com a aplicação do fósforo.

**Avaliação considerando apenas a adubação complementar**

- a) A adubação complementar promoveu uma redução nas características de crescimento e estimativa de massa seca, porém, a densidade básica da madeira apresentou ligeiro aumento.
- b) De modo geral, o tratamento 2 foi o que proporcionou os menores valores de volume, com e sem casca e densidade básica da madeira.
- c) A fertilização fosfatada após a adubação complementar promoveu um aumento nos teores de nitrogênio da madeira.

**Avaliação considerando a adubação inicial somado a adubação complementar**

- a) O tratamento 2, referente à dosagem inicial de plantio, apresentou os melhores valores para as características de crescimento e estimativa de massa seca.
- b) Na avaliação conjunta, o tratamento 2 parece ser o mais indicado para a nutrição com fósforo.
- c) Na avaliação conjunta, a fertilização fosfatada apresentou tendências de aumento para o teor de extrativos totais e redução no teor de lignina.
- d) O teor de nitrogênio, o comprimento das fibras e a espessura da parede das fibras apresentaram um aumento nos valores, porém, a largura das fibras e o diâmetro do lume apresentaram ligeira redução nos valores.

### EXPERIMENTO 3: fertilização potencial

#### **Avaliação inicial sem considerar a adubação complementar**

- a) A fertilização potencial apresentou tendência de aumento para as características de crescimento e estimativa de massa seca, porém, não apresentou diferenças para a densidade básica da madeira.
- b) De modo geral, o tratamento 2 foi o que apresentou um ligeiro aumento para todas as características analisadas.
- c) A fertilização potencial promoveu aumento no teor de nitrogênio da madeira e redução na densidade relativa aparente.

#### **Avaliação inicial considerando a adubação complementar**

- a) A adubação complementar apresentou ligeiros aumentos na densidade básica da madeira.
- b) Após a adubação complementar, o tratamento 2 foi o que apresentou maiores valores para as características de crescimento e produção de massa seca.
- c) Os teores de extrativos totais e lignina apresentaram altos valores com a aplicação da adubação complementar.

**Avaliação considerando a adubação inicial somada à adubação complementar**

- a) Na avaliação conjunta, a adubação complementar provocou uma redução para todas as características, com exceção da densidade básica da madeira.
- b) O tratamento 2, após a adubação complementar, foi que apresentou fibras de maior comprimento, com menor largura, diâmetro do lume e espessura da parede.
- c) Na avaliação conjunta, os rendimentos gravimétricos não sofreram modificação em razão da fertilização complementar, porém, a densidade relativa aparente apresentou um ligeiro aumento com a aplicação da adubação complementar.
- d) Após a adubação complementar, os tratamentos apresentaram ligeiros aumentos para o teor de materiais voláteis e ligeira redução para as outras características.
- e) Para esta avaliação, os teores de carbono fixo observados neste estudo variaram entre 72,70% e 74,65%; os teores de materiais voláteis, entre 24,92% e 27,19% e os teores de cinzas, entre 0,31% e 0,50%.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, A. M. et al. Efeitos da fertilização mineral e da calagem do solo na produção e na qualidade da madeira de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 18, n. 1. p. 69-78, jan./fev. 1994.
- ANDRADE, C. R. et al. Calibrações por meio da técnica da espectroscopia no infravermelho próximo para teor de extrativos totais, de lignina total e holocelulose usando espectros obtidos na madeira sólida. **Ambiência**, Guarapuava, v. 7 n. 1, p. 39-49, jan./abr. 2011.
- ANDRADE, A. S. de. **Qualidade da madeira, celulose e papel em *Pinus taeda* L.:** influência da idade e classe de produtividade. 2006. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- ARANTES, M. D. C. **Variação nas características da madeira e do carvão vegetal de um clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake.** 2009. 149 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- ARAÚJO, E. F. et al. Crescimento de clones de *Eucalyptus* em resposta à aplicação de nitrogênio em Espodosolo no sul da Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. 1 CD-ROM.
- ASSIS, M. R. et al. Qualidade e rendimento do carvão vegetal de um clone híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 71, p. 291-302, jul./set.2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941:** madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112:** análise imediata: material volátil, cinzas, carbono fixo. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633**: carvão vegetal: determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF**: ano base 2011. Brasília: ABRAF, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF 2010 ano base 2009**. Brasília: ABRAF, 2010. Disponível em: <[www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anuario-ABRAF-2011-BR.pdf](http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anuario-ABRAF-2011-BR.pdf)>. Acesso em: 25 abr. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL. **Normas Técnicas** ABTCP. São Paulo, 1974. 6p.

ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA. **Publicações**. Belo Horizonte: AMS, 2012. Disponível em: <<http://www.silviminas.com.br/publicacoes>>. Acesso em: 21 nov. 2012.

BALLONI, E. A.; SIMÕES, J. W. O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 1, n. 3, p. 1-16, 1980.

BARCELLOS, D. C. et al. O estado da - arte da qualidade da madeira de eucalipto para produção de energia: um foco nos tratamentos silviculturais. **Biomassa & Energia**, Botucatu, v. 2, n. 2, p. 141-158, 2005.

BARREIROS, R. M. et al. Modificações na produtividade e nas características físicas e químicas da madeira de *Eucalyptus grandis* causadas pela adubação com lodo de esgoto tratado. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 103-111, jan./fev. 2007.

BARROS, N. F. et al. Produção de eucalipto em solos de cerrado em resposta à aplicação de NPK e de B e Zn. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 5, n. 1, p. 90-103, jan./fev. 1981.



BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. ***Eucalypt* nutrition and fertilizer regimes in Brazil**. In: ATTWILL, P. M.; ADAMS, M. A. (Ed.). *Nutrition of Eucalyptus*. Colliingwood: CSIRO Publishing, 1996. p. 335 -356.

BASSA, A. G. M. C.; SILVA JUNIOR, F. G.; SACON, V. M. Misturas de madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Pinus taeda* para produção de celulose kraft através do Processo Lo-Solids®. **Science Forest**, Piracicaba, n. 75, p. 19-29, set. 2007.

BERGER, R. et al. 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, jul. 2002.

BERLYN, G. P.; MIKSCHE, J. P. **Botanical microtechnique and cytochemistry**. Iowa: State University Press, 1976.

BILGEN, S.; KAYGUSUZ, K. The calculation of the chemical exergies of coal-based fuels by using the higher heating values. **Applied Energy**, London, v. 85, n. 8, p. 776-785, 2008.

BIRKLAND, R. Efficient process for quality products. In: IUFRO WORLD CONGRESS, 19., 1990, Montreal. **Proceedings...** Quebec: Canadian IUFRO World Congress Organizing Committee, 1990. p. 139-147.

BOTREL, M. C. G. et al. Melhoramento genético das propriedades do carvão vegetal de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 391-398, maio/jun. 2007.

BRAND, M. A. **Energia de biomassa florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 375-470.

CASTELO, P. A. R. et al. Influência de diferentes sítios de crescimento sobre a qualidade da madeira de *Pinus taeda*. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 3, p. 495-506, jul./set. 2008.

CASTRO, A. F. N. M. **Efeito da idade e de materiais genéticos de *Eucalyptus sp.* na madeira e do carvão vegetal**. 2011. 98 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

CHIES, D. **Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da madeira serrada de *Pinus taeda* L.** 2005. 123 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Paraná.

COSTA FILHO, R. T. **Crescimento de mudas de *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. e *Astronium fraxinifolium* Schott em resposta à calagem e adubação fosfatada**. 2010. 48 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, São Paulo.

DUBOC, E. et al. **Panorama atual da produção de carvão vegetal no Brasil e no Cerrado**. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2007.

FALCONER, D. S. **Introdução à genética quantitativa**. Viçosa: UFV, 1987.

FREDERICO, P. G. U. **Efeito da região e da madeira de eucalipto nas propriedades do carvão vegetal**. 2009. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

GAHOONIA, T. S.; RAZA, S.; NIELSEN, N. E. Phosphorus depletion in the rhizosphere as influenced by soil moisture. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 159, n. 2, p. 213-218, 1994.

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

GAVA, J. L. Efeito de adubação potássica em plantios de *Eucalyptus grandis* conduzidos em segunda rotação em solos com diferentes teores de potássio trocável. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 11, n. 30, p. 89-94, 1997.

GOLDSCHIMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K. V.; LUDWIG, C. H. (Ed.). **Lignins: occurrence, formation, structure and reations**. New York: John Wiley, 1971. p. 241-266.

GOMIDE, J. L. et al. Calidad de las maderas de clones de *Eucalyptus* de Brasil para la producción de celulosa kraft. In: INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON EUCALYPTUS PULP, 2., 2005, Concepción. **Proceedings...** Concepción: Universidad de Concepción, 2005. p. 1-17.

GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. **O Papel**, São Paulo, v. 47, n. 8, p. 36-38, 1986.

HUANG, C. et al. Ultimate analysis and heating value prediction of straw by near infrared spectroscopy. **Waste Management**, Oxford, v. 29, n. 6, p. 1793-1797, June 2009.

IAWA COMMITTEE. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 10, n. 3, p. 219-332, 1989.

JANKOWSKY, I. P. **Madeira juvenil, formação e aproveitamento industrial**. Piracicaba: IPEF, 1979. (Circular Técnica IPEF, 81).

JESUS, G. L. et al. Doses e fontes de nitrogênio na produtividade do eucalipto e nas frações da matéria orgânica em solo da região do cerrado de Minas Gerais. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 201-214, jan./fev. 2012.

JIANJU, L.; WENBIN, F.; XIUZHEN, D. Fertilization effect on fiber dimensions of *E. urophylla*. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TREE ANATOMY AND WOOD FORMATION, 1995, Kyoto. **Proceedings...** Kyoto: IUFRO, 1995. p. 189-196.

KELLISON, R. C.; RUSS, L.; FREDERICK, D. J. Effect os silvicultural practices on wood quality of southern hardwoods. **Tappi Journal**, Atlanta, v. 66, n. 1, p. 67-69, Jan. 1983.

KIKUTI, P.; NAMIKAWA, I. S. Estudo da interação clone x níveis da adubação em *Eucalyptus saligna*. **O papel**, São Paulo, n. 3, p. 37-44, fev. 1990.

KUMAR, R. et al. Effect of tree-age on calorific value and other fuel properties of *Eucalyptus* hybrid. **Journal of Forestry Research**, Colombo, v. 21, n. 4, p. 514-516, 2010.

LATORRACA, J. V. de F.; ALBUQUERQUE, C. E. C. de. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, p. 279-291, jan/dez. 2000.

LIMA, I. L. Efeito da fertilização em propriedades mecânicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 601-608, jul./set. 2011.

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

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 1995.

MELLO, H. A. **Efeitos da adubação mineral sobre as qualidades da madeira**. Piracicaba: IPEF/ESALQ, 1968. (Relatório Técnico).

MELLO, H. A. et al. Resultados da aplicação de fertilizantes minerais na produção de madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. em solos de cerrado do estado de São Paulo. **IPEF**, Piracicaba, n. 1, p. 7-26, 1970.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Berna: International Potash Institute, 1978.

NEVES, T. A. et al. 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, dez. 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4336/2011.pfb.31.68.319>>. Acesso em: 11 fev. 2012.

NOGUEIRA, L. A. H.; LORA, E. E. S. **Dendroenergia**: fundamentos e aplicações. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Nutrição mineral de eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (Ed.). **Relação-solo eucalipto**. Viçosa: Editora Folha de Viçosa, 1990.

OLIVEIRA, A. C. et al. Avaliação de diferentes níveis de debastes nas propriedades da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 1, p. 59-68, jan./mar. 2012.

OLIVEIRA, A. C. et al. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 431-439, 2010.

PAULA, L. E. R. et al. Characterization of residues from plant biomass for use in energy generation. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 2, p. 237-246, abr./jun. 2011.

PAULESK, D. T. **Influência do espaçamento sobre o crescimento e a qualidade da madeira de *Pinus taeda* L.** 2010. 198 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**: volume 1. São Paulo: Editora UNESP, 2008.

PROTÁSIO, T. P. et al. Avaliação da qualidade do carvão vegetal de *Qualea parviflora*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 68, p. 295–307, 2011b.

PROTÁSIO, T. P. et al. Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 66, p. 122-133, 2011a.

PULITO, A. P. **Resposta à fertilização nitrogenada e estoque de nitrogênio biodisponível em solos usados para plantações de *Eucalyptus***. 2009. 58 f. Tese (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

REIS, A. A. et al. Efeito de local e espaçamento na qualidade do carvão vegetal de um clone de *Eucalyptus urophylla* S.T.Blake. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 44, p. 497-505, out./dez. 2012.

SANTANA, R. S. et al. Alocação de nutrientes em plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, nesp., p. 2723-2733, out./dez. 2008.

SANTOS, R. C. et al. Correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 89, p. 221-230, 2011.

SANTOS, R. C. **Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de Eucalipto**. 2010. 159 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SÃO PAULO. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Resolução SAA - 10, de 11 de julho de 2003. Norma de padrões mínimos de qualidade para carvão vegetal, como base para certificação de produtos pelo Sistema de Qualidade de Produtos Agrícolas, Pecuários e Agroindustriais do Estado de São Paulo, instituído pela Lei 10.481-9. **Diário Oficial**, São Paulo, v. 113, n. 129, jul. 2003.

SETTE JUNIOR, C. R. et al. Efeito da aplicação de potássio e sódio nas características do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* w.hill, aos 24 meses de idade. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 3, p. 535-546, jul./set. 2009.

SETTE JUNIOR, C. R. et al. Efeito da idade e posição de amostragem na densidade e características anatômicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1183-1190, nov./dec. 2012.

SILVA, C. R. et al. Crescimento de clone híbrido de *Eucalyptus* em função da aplicação de nitrogênio na presença e ausência de potássio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 19., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. 1 CD-ROM.

SILVA, M. L. da et al. Setor florestal brasileiro em busca de medidas para contornar a crise financeira. **Centro de Inteligência em Florestas**, Viçosa, dez. 2010. Disponível em: <<http://www.ciflorestas.com.br/>>. Acesso em: 10 dez/2010.

SILVEIRA R. L. V. de A. **Efeito do potássio no crescimento, nas concentrações dos nutrientes e nas características da madeira juvenil de progênies de *Eucalyptus grandis* w. hill ex maiden cultivadas em solução nutritiva**. 2000. 169 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

SMETHURST, P. et al. Fertilizer effects on lai and growth of four *Eucalyptus nitens* plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 176, p. 531-542, 2003.

SUBRAHMANYAM, S. V. Effect of nitrogen and phosphorus on fibre morphology of *Eucalyptus grandis*. **Advances in Forestry Research in India**, Dehra Dun, v. 1, p. 207-215, 1988.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Assimilação de nutrientes minerais**. In: TAIZ, L. ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. p. 317-330.

TOMAZELLO FILHO, M. **Efeito da irrigação e fertilização nas propriedades do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis x urophylla*. 15,16 e 17 P.** 2006. Tese (Livre-Docência em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

TRUGILHO, P. F. Densidade básica e estimativa de massa seca e de lignina na madeira em espécies de *Eucalyptus*. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 5, p. 1228-1239, set./out. 2009.

TRUGILHO, P. F. et al. Aplicação da análise de correlação canônica na identificação de índices de qualidade da madeira de eucalipto para a produção de carvão vegetal. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 259-267, 1997.

TRUGILHO, P. F. et al. Avaliação de clones de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal. **Cerne**, Lavras, v. 7, n. 2, p. 104-114, 2001.

TRUGILHO, P. F. et al. Deformação residual longitudinal (DRL) e sua relação com as características de crescimento da árvore em clones de *Eucalyptus*. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 130-137, abr./jun. 2007.

TRUGILHO, P. F. et al. Rendimentos e características do carvão vegetal em função da posição radial de amostragem em clones de *Eucalyptus*. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 2, p. 178-186, abr./jun. 2005.



VALERI, S. V. et al. Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden com a altura do caule e aplicação de fósforo e calcário dolomítico. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. **Anais...** São Paulo: SBS/SBEF, 1990. p.746-750.

VIGNERON, P.; GERARD, J.; BOUVET, J. M. Relationship between basic density and growth in a fertilization trial with clones of Eucalyptus hybrids in Congo. In: EUCALYPT PLANTATIONS: IMPROVING FIBRE YIELD AND QUALITY. 1995, Hobart. **Proceedings...** Sandy Bay: CRCTHF/ IUFRO, 1995. v. 1, p. 68-72.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira.** Viçosa: SIF, 1984. (Boletim Técnico, 1).

VITAL, B. R. Reflexos da fertilização mineral na qualidade e na utilização da madeira. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. **Relação solo-eucalipto.** Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p. 323-330.

## ANEXOS

## ANEXO A - Tabelas

## EXPERIMENTO 1: Fertilização nitrogenada

Tabela 1A Resumo da análise de variância para as características de crescimento, densidade básica e estimativa de massa seca

FV	GL	Quadrado médio				
		DAP	VCC	VSC	DBm	MS
Tratamentos	4	0,799 *	1244,37 *	1240,84 *	0,00010 <sup>ns</sup>	346,01 *
Bloco	3	0,202	176,06	166,31	0,00041	57,10
Erro	12	0,107	156,19	155,74	0,00012	42,71
Total	19	1,108	1576,62	1562,89	0,00063	445,82
CVe (%)		2,02	5,25	5,41	2,33	5,91
Média geral		16,21	237,94	230,51	0,479	110,53

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; bloco; CVe: coeficiente de variação experimental (%); DAP: diâmetro à altura do peito (cm); VCC: volume com casca ( $m^3 ha^{-1}$ ); VSC: volume sem casca ( $m^3 ha^{-1}$ ); DBm: densidade básica média ( $g cm^{-3}$ ); MS: Massa seca ( $t ha^{-1}$ ); \*: e <sup>ns</sup>: não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Tabela 2A Resumo da análise de variância para as características químicas e energéticas da madeira

FV	GL	Quadrado médio			
		TET	TLT	TCz	PCSm
Tratamentos	4	0,624 <sup>ns</sup>	1,663 <sup>ns</sup>	0,002 <sup>ns</sup>	9169,55 <sup>ns</sup>
Bloco	3	0,384	4,226	0,0022	978,58
Erro	12	0,294	1,2431	0,0081	4023,75
Total	19	1,302	7,1334	0,0126	14171,88
CVe (%)		5,35	3,36	29,88	1,36
Média geral		10,14	33,20	0,3019	4657

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CVe: coeficiente de variação experimental (%); TET: teor de extrativos totais (%); TLT: teor de lignina total (%); TCz: teor de cinzas (%); PCSm: poder calorífico superior da madeira; ( $cal g^{-1}$ ) \*: significativo, e <sup>ns</sup>: não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Tabela 3A Resumo da análise de variância para a composição química elementar da madeira

FV	GL	Quadrado médio			
		N	C	H	O
Tratamentos	4	0,05 <sup>ns</sup>	4,97 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	3,45 <sup>ns</sup>
Bloco	3	0,04	3,25	0,42	1,46
Erro	12	0,01	2,54	0,28	1,53
Total	19	0,06	10,76	0,93	6,45
CVe (%)		11,70	3,36	8,77	2,71
Média geral		0,78	47,42	6,07	45,72

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CVe: coeficiente de variação experimental (%); N: nitrogênio (%); C: carbono (%); H: hidrogênio (%); O: oxigênio (%). \* e <sup>ns</sup>: não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Tabela 4A Resumo da análise de variância realizada para a avaliação das dimensões das fibras da madeira

FV	GL	Quadrado médio			
		Compf	Largf	Diâmlume	Espf
Tratamentos	4	3192,44 <sup>ns</sup>	0,907 <sup>ns</sup>	0,644 <sup>ns</sup>	0,098 <sup>ns</sup>
Bloco	3	111,32	0,429	1,867	0,248
Erro	12	4471,68	0,358	0,823	0,117
Total	19	7775,44	1,694	3,335	0,465
CVe (%)		8,44	3,52	9,49	9,44
Média geral		791,86	16,98	9,56	3,65

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CVe: coeficiente de variação experimental (%); Compf: comprimento de fibra ( $\mu\text{m}$ ); Largf: largura de fibra ( $\mu\text{m}$ ); Diâmlume: diâmetro do lume ( $\mu\text{m}$ ); Espf: espessura da parede da fibra ( $\mu\text{m}$ ). \* e <sup>ns</sup>: não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Tabela 5A Resumo da análise de variância para a avaliação dos rendimentos gravimétricos e da densidade relativa aparente do carvão vegetal

FV	GL	Quadrado médio			
		RGC	RLP	RCF	DRA
Tratamentos		0,34 <sup>ns</sup>	14,34 <sup>*</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>ns</sup>
Bloco		0,71	0,48	0,04	0,001
Erro		0,33	3,41	0,13	0,001
Total		1,38	18,22	0,26	0,003
CVe (%)		1,68	3,87	1,44	7,70
Média geral		34,23	47,662	24,99	0,388

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CVe: coeficiente de variação experimental (%); RGC: rendimento gravimétrico em carvão (%); RLP: rendimento em líquido pirolenhoso (%); RCF: rendimento em carbono fixo (%); DRA: densidade relativa aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ ); \*: significativo, e <sup>ns</sup>: não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Tabela 6A Resumo da análise de variância realizada para as características químicas e energéticas do carvão vegetal

FV	GL	Quadrado médio			
		TMV	TCz	TCF	PCSc
Tratamentos	4	2,99 <sup>ns</sup>	0,006 <sup>ns</sup>	3,08 <sup>ns</sup>	26600 <sup>ns</sup>
Bloco	3	2,80	0,007	3,14	31273
Erro	12	1,45	0,005	1,29	13503
Total	19	7,24	0,018	7,51	71376
CVe (%)		4,50	22,44	1,55	1,58
Média Geral		26,77	0,332	73,03	7375

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; bloco; CVe: coeficiente de variação experimental (%); TMV: teor de materiais voláteis (%); TCz: teor de cinzas (%); TCF: teor de carbono fixo (%); PCSc: poder calorífico superior do carvão vegetal ( $\text{cal g}^{-1}$ ); \*: significativo e <sup>ns</sup>: não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

## ANEXO B

## EXPERIMENTO 2: Fertilização fosfatada

## Avaliação inicial sem considerar a adubação complementar

Tabela 1B Resumo da análise de variância realizada para as características de crescimento, densidade básica média e estimativa de massa seca

FV	GL	Quadrado médio				
		DAP	VCC	VSC	DBm	MS
Tratamentos	2	0,278 <sup>ns</sup>	293,72 <sup>ns</sup>	313,96 <sup>ns</sup>	0,0006 <sup>ns</sup>	85,28 <sup>ns</sup>
Bloco	3	0,718	242,72	235,25	0,0002	96,56
Erro	14	0,207	172,18	170,45	0,0001	63,37
Total	19	1,203	708,62	719,66	0,0004	245,21
CVe (%)		2,74	5,16	5,28	2,09	6,83
Média geral		16,21	237,94	230,51	0,479	110,53

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CVe: coeficiente de variação experimental (%); DAP: diâmetro à altura do peito (cm); VCC: volume com casca ( $m^3 ha^{-1}$ ); VSC: volume sem casca ( $m^3 ha^{-1}$ ); DBm: densidade básica média ( $g cm^{-3}$ ); MS: massa seca ( $t ha^{-1}$ ); \*: significativo, a 5%, <sup>ns</sup>: não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Tabela 2B Resumo da análise de variância para as características químicas e energéticas da madeira

FV	GL	Quadrado médio			
		TET	TLT	TCz	PCSm
Tratamento	2	0,109 <sup>ns</sup>	0,098 <sup>ns</sup>	0,004 <sup>ns</sup>	19080,75 <sup>ns</sup>
Bloco	3	0,103	2,236	0,000	21146,22
Erro	6	0,251	2,070	0,001	26499,63
Total	11	0,464	4,402	0,003	66726,60
CVe (%)		13,83	4,44	11,13	3,63
Média geral		3,62	32,37	0,275	4488

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CVe: coeficiente de variação experimental (%); TET: teor de extrativos totais (%); TLT: teor de lignina total (%); TCz: teor de cinzas (%); PCSm: poder calorífico superior da madeira; ( $cal g^{-1}$ ) \*: significativo, <sup>ns</sup> e não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Tabela 3B Resumo da análise de variância realizada para a composição química da madeira

FV	GL	Quadrado médio			
		N	C	H	O
Tratamentos	2	0,0003 <sup>ns</sup>	0,630 <sup>ns</sup>	0,003 <sup>ns</sup>	0,662 <sup>ns</sup>
Bloco	3	0,027	0,633	0,011	0,679
Erro	6	0,003	0,171	0,002	0,208
Total	11	0,030	1,435	0,017	1,55
CVe (%)		9,43	0,88	0,75	0,99
Média geral		0,636	46,93	6,17	46,26

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CVe: coeficiente de variação experimental (%); N: nitrogênio (%); C: carbono (%); H: hidrogênio (%); O: oxigênio (%) \* : significativo, e <sup>ns</sup>: não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Tabela 4B Resumo da análise de variância para as dimensões das fibras da madeira

FV	GL	Quadrado médio			
		Compf	Largf	Diâmlume	Espf
Tratamentos	2	4886,74 <sup>ns</sup>	4,6018 <sup>ns</sup>	0,6378 <sup>ns</sup>	0,075 <sup>ns</sup>
Bloco	3	6006,34	0,7572	2,2020	0,077
Erro	6	3496,39	1,6585	1,2166	0,052
Total	11	14389,47	7,0175	4,0564	0,205
CVe (%)		7,34	7,41	10,50	6,50
Média geral		805,50	17,37	10,51	3,53

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CVe: coeficiente de variação experimental (%); Compf: comprimento da fibra ( $\mu\text{m}$ ); Largf: largura da fibra ( $\mu\text{m}$ ); Diâmlume: diâmetro do lume ( $\mu\text{m}$ ); Espf: espessura da parede da fibra ( $\mu\text{m}$ ) \* : significativo e <sup>ns</sup>: não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Tabela 5B Resumo da análise de variância realizada para os rendimentos gravimétricos e a densidade relativa aparente do carvão vegetal.

FV	GL	Quadrado médio			
		RGC	RLP	RCF	DRA
Tratamentos	2	0,44 <sup>ns</sup>	1,24 <sup>ns</sup>	0,62*	0,0003 <sup>ns</sup>
Bloco	3	0,03	2,25	0,22	0,0003
Erro	6	0,11	6,80	0,07	0,0003
Total	11	0,57	10,29	0,91	0,0009
CVe (%)		1,01	5,38	1,08	5,20
Média geral		33,41	48,50	24,44	0,374

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CVe: coeficiente de variação experimental (%); RLP: rendimento em líquido pirolenhoso (%); RGC: rendimento gravimétrico do carvão (%); RCF: rendimento em carbono fixo (%); DRA: densidade relativa aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ ); \* significativo e <sup>ns</sup>: não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Tabela 6B Resumo da análise de variância para as características químicas e energéticas do carvão vegetal.

FV	GL	Quadrado médio			
		TMV	TCz	TCF	PCSc
Tratamentos	2	0,97 <sup>ns</sup>	0,002 <sup>ns</sup>	1,12*	19327,08*
Bloco	3	2,65	0,016	2,86	210,30
Erro	6	0,23	0,001	0,21	1865,63
Total	11	3,85	0,019	4,19	21403,01
CVe (%)		1,81	10,12	0,64	0,59
Média geral		26,46	0,425	73,15	7371,58

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CVe: coeficiente de variação experimental (%); TMV: teor de materiais voláteis (%); TCz: teor de cinzas (%); TCF: teor de carbono fixo (%); PCSc: poder calorífico superior do carvão vegetal ( $\text{cal g}^{-1}$ ); \*: significativo, <sup>ns</sup>: não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

### Avaliação considerando apenas a adubação complementar

Tabela 7B Resumo da análise de variância realizada para as características de crescimento, densidade básica e estimativa de massa seca

FV	GL	Quadrado médio				
		DAP	VCC	VSC	DBm	MS
Tratamentos	2	0,745 <sup>ns</sup>	1313,53 <sup>ns</sup>	1312,25 <sup>ns</sup>	0,0003 <sup>ns</sup>	419,30*
Bloco	3	1,738	971,88	979,08	0,0008	244,06
Erro	14	0,299	429,95	431,54	0,0001	127,85
Total	19	2,783	2715,36	2722,87	0,0012	791,21
CVe (%)		3,45	9,19	9,51	2,09	10,61
Média geral		15,88	225,72	218,44	0,484	106,61

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade, CVe: coeficiente de variação experimental (%); DAP: diâmetro à altura do peito (cm); VCC: volume com casca (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>); VSC: volume sem casca (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>); DBm: densidade básica média (g cm<sup>-3</sup>); MS: massa seca (t ha<sup>-1</sup>); \*: significativo, a 5% e <sup>ns</sup>: não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Tabela 8B Resumo da análise de variância para as características químicas e energéticas da madeira

FV	GL	Quadrado médio			
		TET	TLT	TCz	PCSm
Tratamentos	2	0,490 <sup>ns</sup>	0,374 <sup>ns</sup>	0,0003 <sup>ns</sup>	249,08 <sup>ns</sup>
Bloco	3	0,162	1,011	0,001	1769,55
Erro	6	0,326	1,158	0,001	422,30
Total	11	0,978	2,543	0,002	2440,93
CVe (%)		12,00	3,37	9,36	0,45
Média geral		4,75	31,96	0,268	4533

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CVe: coeficiente de variação experimental (%); TET: teor de extrativos totais (%); TLT: teor de lignina total (%); TCz: teor de cinzas (%); PCSm: poder calorífico da madeira; (cal/g) \*: significativo e <sup>ns</sup>: não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey



Tabela 9B Resumo da análise de variância para a composição química elementar da madeira

FV	GL	Quadrado médio			
		N	C	H	O
Tratamentos	2	0,006 <sup>ns</sup>	0,105 <sup>ns</sup>	0,005 <sup>ns</sup>	0,179 <sup>ns</sup>
Bloco	3	0,011	0,287	0,004	0,334
Erro	6	0,006	0,318	0,011	0,399
Total	11	0,024	0,710	0,021	0,912
CVe (%)		10,27	1,20	1,73	1,37
Média geral		0,766	46,97	6,15	46,10

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CVe: coeficiente de variação experimental (%); N: nitrogênio (%); C: carbono (%); H: hidrogênio (%); O: oxigênio (%) \* : significativo e <sup>ns</sup>: não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Tabela 10B Resumo da análise de variância realizada das dimensões das fibras da madeira

FV	GL	Quadrado médio			
		Compf	Largf	Diâmlume	Espf
Tratamentos	2	1510,97 <sup>ns</sup>	1,1542 <sup>ns</sup>	0,6319 <sup>ns</sup>	0,072 <sup>ns</sup>
Bloco	3	325,66	0,3821	0,9686	0,177
Erro	6	1700,22	0,8491	0,5730	0,028
Total	11	3536,85	2,3854	2,1735	0,278
CVe (%)		4,96	5,43	7,95	4,58
Média geral		830,55	16,95	9,52	3,68

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CVe: coeficiente de variação experimental (%); Compf: comprimento de fibra ( $\mu\text{m}$ ); Largf: largura de fibra ( $\mu\text{m}$ ); Diâmlume: diâmetro do lume ( $\mu\text{m}$ ); Espf: espessura da parede da fibra ( $\mu\text{m}$ ) \* : significativo, <sup>ns</sup>: não significativo, a 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

Tabela 11B Resumo da análise de variância para os rendimentos gravimétricos e densidade relativa aparente do carvão vegetal

FV	GL	Quadrado médio			
		RGC	RLP	RCF	DRA
Tratamentos	2	1,54 <sup>ns</sup>	50,83 <sup>ns</sup>	0,90 <sup>ns</sup>	0,0004*
Bloco	3	1,38	12,44	0,51	0,0000
Erro	6	1,43	10,20	0,47	0,0000
Total	11	4,35	73,47	1,88	0,0004
CVe (%)		3,59	6,86	2,82	1,64
Média geral		33,28	46,55	24,39	0,371

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CVe: coeficiente de variação experimental (%); RLP: rendimento em líquido pirolenhoso (%); RGC: rendimento gravimétrico em carvão (%); RCF: rendimento em carbono fixo (%); DRA: densidade relativa aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ ); \*: significativo, <sup>ns</sup>: não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Tabela 12B Resumo da análise de variância realizada para as características químicas e energéticas do carvão vegetal

FV	GL	Quadrado médio			
		TMV	TCz	TCF	PCSc
Tratamentos	2	0,24 <sup>ns</sup>	0,002 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	10471,75 <sup>ns</sup>
Bloco	3	0,93	0,005	0,75	27651,86
Erro	6	0,63	0,004	0,61	10786,86
Total	11	1,80	0,011	1,55	48910,47
CVe (%)		3,04	17,13	1,07	1,40
Média geral		26,30	0,375	73,36	7430

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CVe: coeficiente de variação experimental (%); TMV: teor de materiais voláteis (%); TCz: teor de cinzas (%); TCF: teor de carbono fixo (%); PCSc: poder calorífico superior do carvão vegetal ( $\text{cal g}^{-1}$ ); \*: significativo, <sup>ns</sup>: não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

**Avaliação considerando a adubação inicial somada à adubação complementar**

Tabela 13B Resumo da análise de variância realizada para as características de crescimento, densidade básica média e estimativa de massa seca da madeira

FV	GL	Quadrado médio				
		DAP	VCC	VSC	DBm	MS
Tratamentos	5	1,546*	2278,30*	2319,46*	0,0003 <sup>ns</sup>	401,39*
Bloco	3	1,970	944,56	942,45	0,0001	287,37
Erro	31	0,276	298,06	298,18	0,0001	91,51
Total		3,793	3520,92	3560,09	0,0004	780,27
CVe (%)		3,23	7,19	7,41	2,27	8,57
Média geral		16,26	240,02	232,88	0,477	111,60

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CVe: coeficiente de variação experimental (%); DAP: diâmetro à altura do peito (cm); VCC: volume com casca ( $m^3 ha^{-1}$ ); VSC: volume sem casca ( $m^3 ha^{-1}$ ); Dbm: densidade básica média ( $g cm^{-3}$ ); MS: massa seca ( $t ha^{-1}$ ); \* e <sup>ns</sup>: não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Tabela 14B Resumo da análise de variância para as características químicas e energéticas da madeira

FV	GL	Quadrado médio			
		TET	TLT	TCz	PCSm
Tratamentos	5	1,776*	0,385 <sup>ns</sup>	0,002 <sup>ns</sup>	10198,06 <sup>ns</sup>
Bloco	3	0,132	0,577	0,001	6842,77
Erro	15	0,257	1,825	0,001	13983,37
Total	23	2,166	2,788	0,003	31024,20
CVe (%)		12,11	4,20	10,08	2,62
Média geral		4,19	32,17	0,272	4510

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CVe: coeficiente de variação experimental (%); TET: teor de extrativos totais (%); TLT: teor de lignina total (%); TCz: teor de cinzas (%); PCSm: poder calorífico da madeira; ( $cal g^{-1}$ ) \* e <sup>ns</sup>: não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Tabela 15B Resumo da análise de variância para a composição química elementar da madeira

FV	GL	Quadrado médio			
		N	C	H	O
Tratamentos	5	0,023 <sup>*</sup>	0,296 <sup>ns</sup>	0,004 <sup>ns</sup>	0,365 <sup>ns</sup>
Bloco	3	0,029	0,701	0,008	0,733
Erro	15	0,006	0,239	0,007	0,299
Total	23	0,058	1,237	0,018	1,399
CVe (%)		10,88	1,04	1,36	1,18
Média geral		0,701	46,95	6,16	46,18

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; bloco; CVe: coeficiente de variação experimental (%); N: nitrogênio (%); C: carbono (%); H: hidrogênio (%); O: oxigênio (%) <sup>\*</sup>: significativo e <sup>ns</sup>: não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Tabela 16B Resumo da análise de variância para as dimensões das fibras da madeira

FV	GL	Quadrado médio			
		Compf	Largf	Diâmlume	Espf
Tratamentos	5	3311,93 <sup>ns</sup>	2,64 <sup>ns</sup>	1,68 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>
Bloco	3	3801,87	0,11	1,57	0,22
Erro	15	2584,67	1,23	1,03	0,04
Total	23	9698,47	3,98	4,29	0,34
CVe (%)		6,21	10,70	6,47	10,16
Média geral		818,02	384,19	17,16	10,01

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CVe: coeficiente de variação experimental (%); Compf: comprimento de fibra ( $\mu\text{m}$ ); Largf: largura de fibra ( $\mu\text{m}$ ); Diâmlume: diâmetro do lume ( $\mu\text{m}$ ); Espf: espessura da parede da fibra ( $\mu\text{m}$ ) <sup>\*</sup>: significativo e <sup>ns</sup>: não significativo, a 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey

Tabela 17B Resumo da análise de variância realizada para os rendimentos gravimétricos e a densidade relativa aparente do carvão vegetal

FV	GL	Quadrado médio			
		RGC	RLP	RCF	DRA
Tratamentos	5	0,81 <sup>ns</sup>	25,40 <sup>ns</sup>	0,61 <sup>ns</sup>	0,0003 <sup>ns</sup>
Bloco	3	0,85	4,04	0,43	0,0001
Erro	15	0,73	8,93	0,27	0,0002
Total	23	2,39	38,37	1,31	0,0006
CVe (%)		2,56	6,29	2,17	3,96
Média geral		33,35	47,52	24,42	0,373

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CVe: coeficiente de variação experimental (%); RLP: rendimento em líquido pirolenhoso (%); RGC: rendimento gravimétrico em carvão (%); RCF: rendimento em carbono fixo (%); DRA: densidade relativa aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ ); \*: significativo, <sup>ns</sup>: não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Tabela 18B Resumo da análise de variância realizada para as características químicas e energéticas do carvão vegetal

FV	GL	Quadrado médio			
		TMV	TCz	TCF	PCSc
Tratamentos	5	0,51 <sup>ns</sup>	0,004 <sup>ns</sup>	0,57 <sup>ns</sup>	16120,36 <sup>ns</sup>
Bloco	3	3,28	0,009	3,10	15555,00
Erro	15	0,41	0,075	0,43	7522,43
Total	23	4,20	0,088	4,10	39197,79
CVe (%)		2,42	17,77	0,90	1,17
Média geral		26,38	0,400	73,26	7401,16

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CVe: coeficiente de variação experimental (%); TMV: teor de materiais voláteis (%); TCz: teor de cinzas (%); TCF: teor de carbono fixo (%); PCSc: poder calorífico superior do carvão vegetal ( $\text{cal g}^{-1}$ ); \*: significativo, <sup>ns</sup>: não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

## ANEXO C

## EXPERIMENTO 3 - Fertilização potencial

## Avaliação inicial sem considerar a adubação complementar

Tabela 1C Resumo da análise de variância realizada para as características de crescimento, densidade básica e estimativa de massa seca

FV	GL	Quadrado médio				
		DAP	VCC	VSC	DBm	MS
Tratamentos	4	0,278 <sup>ns</sup>	568,08*	576,79*	0,0002 <sup>ns</sup>	187,82*
Bloco	3	0,503	828,70	873,21	0,0001	231,68
Erro	12	0,132	127,77	122,82	0,0001	29,11
Total	19	0,913	1524,56	1572,81	0,0004	448,61
CVe (%)		2,30	4,85	4,90	2,16	5,22
Média geral		15,80	233,23	225,95	0,457	103,39

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; bloco; CVe: coeficiente de variação experimental (%); DAP: diâmetro à altura do peito (cm); VCC: volume com casca ( $m^3 ha^{-1}$ ); VSC: volume sem casca ( $m^3 ha^{-1}$ ); DBm: densidade básica média ( $g cm^{-3}$ ); MS: massa seca ( $t ha^{-1}$ ); \*: significativo a 5%, pelo teste F; <sup>ns</sup>: não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Tabela 2C Resumo da análise de variância realizada para as características químicas e energéticas da madeira

FV	GL	Quadrado médio			
		TET	TLT	TCz	PCSm
Tratamentos	4	0,59 <sup>ns</sup>	4,22 <sup>ns</sup>	0,009 <sup>ns</sup>	2899 <sup>ns</sup>
Bloco	3	2,61	8,96	0,015	4780
Erro	12	0,48	2,78	0,010	5751
Total	19	3,68	15,96	0,034	9128
CVe (%)		5,72	5,33	32,79	1,61
Média geral		12,07	31,27	0,316	4696

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CVe: coeficiente de variação experimental (%); TET: teor de extrativos totais (%); TLT: teor de lignina total (%); TCz: teor de cinzas (%); PCSm: poder calorífico da madeira ( $cal g^{-1}$ ); \*: significativo, <sup>ns</sup>: não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Tabela 3C Resumo da análise de variância para a composição química elementar da madeira

FV	GL	Quadrado médio			
		N	C	H	O
Tratamentos	4	0,009 <sup>ns</sup>	0,082 <sup>ns</sup>	0,006 <sup>ns</sup>	0,139 <sup>ns</sup>
Bloco	3	0,025	0,337	0,002	0,444
Erro	12	0,004	0,414	0,007	0,442
Total	19	0,038	0,833	0,015	1,025
CVe (%)		9,31	1,37	1,41	1,44
Média geral		0,68	47,05	6,15	46,10

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CVe: coeficiente de variação experimental (%); N: nitrogênio (%); C: carbono (%); H: hidrogênio (%); O: oxigênio (%) \* : significativo, e <sup>ns</sup>: não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Tabela 4C Resumo da análise de variância para as dimensões das fibras da madeira

FV	GL	Quadrado médio			
		Compf	Largf	Diâmlume	Espf
Tratamentos	4	573,85 <sup>ns</sup>	0,836 <sup>ns</sup>	1,516 <sup>ns</sup>	0,338 <sup>ns</sup>
Bloco	3	127,95	0,148	0,999	0,171
Erro	12	7495,50	2,609	2,877	0,403
Total	19	8197,31	3,593	5,392	0,912
CVe (%)		10,44	9,27	17,08	16,96
Média geral		829,29	17,42	9,93	3,74

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CVe: coeficiente de variação experimental (%); Compf: comprimento da fibra ( $\mu\text{m}$ ); Largf: largura da fibra ( $\mu\text{m}$ ); diâmetro do lume ( $\mu\text{m}$ ); Espf: espessura da parede da fibra ( $\mu\text{m}$ ) \* : significativo e <sup>ns</sup>: não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Tabela 5C Resumo da análise de variância para os rendimentos gravimétricos e a densidade relativa aparente do carvão vegetal

FV	GL	Quadrado médio			
		RGC	RLP	RCF	DRA
Tratamentos	4	0,92 <sup>ns</sup>	15,99 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>	0,0002*
Bloco	3	1,64	33,90	0,37	0,0001
Erro	12	0,65	9,51	0,31	0,0003
Total	19	3,22	59,39	1,09	0,0006
CVe (%)		2,38	6,65	2,22	4,73
Média geral		33,95	46,37	25,07	0,379

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CVe: coeficiente de variação experimental (%); RLP: rendimento em líquido pirolenhoso (%); RGC: rendimento gravimétrico em carvão (%); RCF: rendimento em carbono fixo (%); DRA: densidade relativa aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ ); \*: significativo e <sup>ns</sup>: não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Tabela 6C Resumo da análise de variância para as características químicas e energéticas do carvão vegetal

FV	GL	Quadrado médio			
		TMV	TCz	TCF	PCSc
Tratamentos	4	2,23 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	2,40 <sup>ns</sup>	35182,18 <sup>ns</sup>
Bloco	3	1,65	0,02	1,65	17429,53
Erro	12	1,74	0,01	1,63	14437,07
Total	19	5,62	0,05	4,67	67048,78
CVe (%)		5,14	26,71	1,73	1,62
Média geral		25,69	0,449	73,87	7434

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CVe: coeficiente de variação experimental (%); TMV: teor de materiais voláteis (%); TCz: teor de cinzas (%); TCF: teor de carbono fixo (%); PCSc: poder calorífico superior do carvão vegetal ( $\text{cal g}^{-1}$ ); \*: significativo e <sup>ns</sup>: não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey



### Avaliação inicial considerando a adubação complementar

Tabela 7C Resumo da análise de variância realizada para as características de crescimento, densidade básica e estimativa de massa seca da madeira

FV	GL	Quadrado médio				
		DAP	VCC	VSC	DBm	MS
Tratamentos	4	0,888*	1630,64*	1697,16*	0,0001 <sup>ns</sup>	427,75*
Bloco	3	0,509	90,78	72,83	0,0006	19,74
Erro	12	0,029	34,35	38,93	0,0001	12,15
Total	19	1,426	1755,77	1808,93	0,0008	459,66
CVe (%)		1,13	2,85	3,16	2,38	3,69
Média geral		15,14	205,59	197,49	0,478	94,39

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CVe: coeficiente de variação experimental (%); DAP: diâmetro à altura do peito (cm); VCC: volume com casca ( $m^3 ha^{-1}$ ); VSC: volume sem casca ( $m^3 ha^{-1}$ ); DBm: densidade básica média ( $g cm^{-3}$ ); MS: massa seca ( $t ha^{-1}$ ); \*: significativo, <sup>ns</sup>: não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Tabela 8C Resumo da análise de variância realizada para as características química e energética da madeira

FV	GL	Quadrado médio			
		TET	TLT	TCz	PCSm
Tratamentos	4	0,58 <sup>ns</sup>	1,09 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>ns</sup>	2929 <sup>ns</sup>
Bloco	3	0,65	0,72	0,001	6086
Erro	12	0,36	2,32	0,002	2787
Total	19	1,59	4,13	0,004	11802
CVe (%)		4,80	4,75	16,14	1,14
Média geral		12,47	32,03	0,272	4651

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CVe: coeficiente de variação experimental (%); TET: teor de extrativos totais (%); TLT: teor de lignina total (%); TCz: teor de cinzas (%); PCSm: poder calorífico superior da madeira; ( $cal g^{-1}$ ) \*: significativo, e <sup>ns</sup>: não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Tabela 9C Resumo da análise de variância para a composição química elementar da madeira

FV	GL	Quadrado médio			
		N	C	H	O
Tratamentos	4	0,021 <sup>ns</sup>	0,032 <sup>ns</sup>	0,007 <sup>ns</sup>	0,050 <sup>ns</sup>
Bloco	3	0,027	0,436	0,004	0,346
Erro	12	0,022	0,254	0,022	0,454
Total	19	0,070	0,722	0,033	0,850
CVe (%)		26,97	1,07	2,43	1,47
Média geral		0,56	47,36	6,18	45,86

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; bloco; CVe: coeficiente de variação experimental (%); N: nitrogênio (%); C: carbono (%); H: hidrogênio (%); O: oxigênio (%) \* : significativo, e <sup>ns</sup>: não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Tabela 10C Resumo da análise de variância para as dimensões das fibras da madeira

FV	GL	Quadrado médio			
		Compf	Largf	Diâmlume	Espf
Tratamentos	4	1579,908 <sup>ns</sup>	2,828*	3,562*	0,020 <sup>ns</sup>
Bloco	3	4800,019	0,175	0,508	0,026
Erro	12	6930,853	0,425	0,814	0,213
Total	19	13310,78	3,428	4,884	0,259
CVe (%)		10,04	3,69	8,65	12,73
Média geral		829,32	17,69	10,44	3,63

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CVe: coeficiente de variação experimental (%); Compf: comprimento da fibra ( $\mu\text{m}$ ); Largf: largura da fibra ( $\mu\text{m}$ ); Diâmlume: diâmetro do lume ( $\mu\text{m}$ ); Espf: espessura da parede da fibra ( $\mu\text{m}$ ) \* : significativo e <sup>ns</sup>: não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Tabela 11C Resumo da análise de variância para os rendimentos gravimétricos e densidade relativa aparente do carvão vegetal

FV	GL	Quadrado médio			
		RGC	RLP	RCF	DRA
Tratamentos	4	0,55 <sup>ns</sup>	28,77 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	0,0001 <sup>ns</sup>
Bloco	3	0,24	34,13	0,67	0,0000
Erro	12	0,86	50,13	0,29	0,0007
Total	19	1,65	113,03	1,17	0,0008
CVe (%)		2,69	16,29	2,17	6,97
Média geral		34,35	43,46	25,02	0,397

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CVe: coeficiente de variação experimental (%); RLP: rendimento em líquido pirolenhoso (%); RGC: rendimento gravimétrico do carvão (%); RCF: rendimento em carbono fixo (%); DRA: densidade relativa aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ ); \*: significativo e <sup>ns</sup>: não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Tabela 12C Resumo da análise de variância para as características químicas e energéticas do carvão vegetal

FV	GL	Quadrado médio			
		TMV	TCz	TCF	PCSc
Tratamentos	4	0,67 <sup>ns</sup>	0,015 <sup>ns</sup>	0,72 <sup>ns</sup>	10699,17 <sup>ns</sup>
Bloco	3	6,49	0,002	5,91	10945,46
Erro	12	4,69	0,013	4,53	10678,17
Total	19	11,83	0,030	11,17	32322,82
CVe (%)		8,09	31,32	2,92	1,40
Média geral		26,76	0,373	72,90	7382

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CVe: coeficiente de variação experimental (%); TMV: teor de materiais voláteis (%); TCz: teor de cinzas (%); TCF: teor de carbono fixo (%); PCSc: poder calorífico superior do carvão vegetal ( $\text{cal g}^{-1}$ ); \*: significativo, <sup>ns</sup>: não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

**Avaliação considerando a adubação inicial somada à adubação complementar**

Tabela 13C Resumo da análise de variância realizada para as características de crescimento, densidade básica e estimativa de massa seca da madeira

FV	GL	Quadrado médio				
		DAP	VCC	VSC	DBm	MS
Tratamentos	9	1,003*	1826,49*	1910,74*	0,0006*	363,62*
Bloco	3	0,689	341,44	368,43	0,0001	64,00
Erro	27	0,107	136,28	136,07	0,0001	39,16
Total	39	1,799	2304,23	2415,24	0,0008	466,78
CVe (%)		2,12	5,32	5,51	2,65	6,33
Média geral		15,47	219,41	211,72	0,467	98,89

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CVe: coeficiente de variação experimental (%); DAP: diâmetro à altura do peito (cm); VCC: volume com casca ( $m^3 ha^{-1}$ ); VSC: volume sem casca ( $m^3 ha^{-1}$ ); DBm: densidade básica média ( $g cm^{-3}$ ); MS: massa seca ( $t ha^{-1}$ ); \*: significativo a 5%, <sup>ns</sup>: não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Tabela 14C Resumo da análise de variância realizada para as características químicas e energéticas da madeira

FV	GL	Quadrado médio			
		TET	TLT	TCz	PCSm
Tratamentos	9	0,695 <sup>ns</sup>	2,991 <sup>ns</sup>	0,0071 <sup>ns</sup>	4865 <sup>ns</sup>
Bloco	3	1,832	7,198	0,0098	4132
Erro	27	0,529	2,543	0,0063	4065
Total	39	3,056	12,732	0,0232	13062
CVe (%)		5,93	5,04	27,16	1,36
Média geral		12,27	31,65	0,294	4673

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CVe: coeficiente de variação experimental (%); TET: teor de extrativos totais (%); TLT: teor de lignina total (%); TCz: teor de cinzas (%); PCSm: poder calorífico da madeira; (cal g<sup>-1</sup>): significativo, e <sup>ns</sup>: não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Tabela 15C Resumo da análise de variância para a composição química elementar da madeira

FV	GL	Quadrado médio			
		N	C	H	O
Tratamentos	9	0,03 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	0,006 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>
Bloco	3	0,03	0,16	0,002	0,79
Erro	27	0,02	0,30	0,013	0,39
Total	39	0,07	0,61	0,021	1,34
CVe (%)		19,73	1,16	1,91	1,37
Média geral		0,622	47,21	6,17	45,98

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CVe: coeficiente de variação experimental (%); N: nitrogênio (%); C: carbono (%); H: hidrogênio (%); O: oxigênio (%) \* : significativo, e <sup>ns</sup>: não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Tabela 16C Resumo da análise de variância para as dimensões das fibras da madeira

FV	GL	Quadrado médio			
		Compf	Largf	Diâmlume	Espf
Tratamentos	4	957,23 <sup>ns</sup>	1,71 <sup>ns</sup>	2,54 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>
Bloco	3	3171,44	0,29	1,26	0,15
Erro	12	6606,88	1,35	1,67	0,28
Total	19	6611008,68	3,35	5,47	0,61
CVe (%)		9,80	6,62	12,68	14,32
Média geral		829,30	17,56	10,18	3,68

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CVe: coeficiente de variação experimental (%); Compf: comprimento da fibra ( $\mu\text{m}$ ); Largf: largura da fibra ( $\mu\text{m}$ ); Diâmlume: diâmetro do lume ( $\mu\text{m}$ ); Espf: espessura da parede da fibra ( $\mu\text{m}$ ) \* : significativo e <sup>ns</sup>: não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott Knott

Tabela 17C Resumo da análise de variância para os rendimentos gravimétricos e a densidade relativa aparente do carvão vegetal

FV	GL	Quadrado médio			
		RGC	RLP	RCF	DRA
Tratamentos	9	0,83 <sup>ns</sup>	29,30 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>	0,0014 <sup>*</sup>
Bloco	3	1,13	65,14	0,31	0,0003
Erro	27	0,75	26,83	0,35	0,0005
Total	39	2,71	121,27	0,93	0,0148
CVe (%)		2,54	11,53	2,37	5,89
Média geral		34,14	44,91	25,04	0,388

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; bloco; CVe: coeficiente de variação experimental (%); RLP: rendimento em líquido pirolenhoso (%); RGC: rendimento gravimétrico do carvão (%); RCF: rendimento em carbono fixo (%); DRA: densidade relativa aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ ); \*: significativo e <sup>ns</sup>: não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott Knott

Tabela 18C Resumo da análise de variância para as características químicas e energéticas do carvão vegetal

FV	GL	Quadrado médio			
		TMV	TCz	TCF	PCSc
Tratamentos	9	2,54 <sup>ns</sup>	0,021 <sup>ns</sup>	2,44 <sup>ns</sup>	23407,72 <sup>ns</sup>
Bloco	3	6,63	0,012	6,39	7795,37
Erro	27	3,02	0,013	2,87	13448,96
Total	39	12,19	0,046	11,69	44652,05
CVe (%)		6,63	28,28	2,31	1,57
Média geral		26,23	0,411	73,39	7408

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; bloco; CVe: coeficiente de variação experimental (%); TMV: teor de materiais voláteis (%); TCz: teor de cinzas (%); TCF: teor de carbono fixo (%); PCSc: poder calorífico superior do carvão vegetal ( $\text{cal g}^{-1}$ ); \*: significativo e <sup>ns</sup>: não significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey