

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
REGIONAL JATAÍ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

PRODUÇÃO E QUALIDADE DA BIOMASSA DE CLONES DE
***EUCALYPTUS* EM ESPAÇAMENTOS ADENSADOS**
VISANDO AO USO ENERGÉTICO

Maiara Aparecida Alves

Especialista em Produção Florestal

JATAÍ – GOIÁS – BRASIL

Julho – 2017

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: Dissertação Tese

2. Identificação da Tese ou Dissertação:

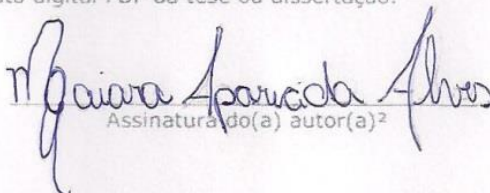
Nome completo do autor: Maiara Aparecida Alves

Título do trabalho: PRODUÇÃO E QUALIDADE DA BIOMASSA DE CLONES DE *EUCALYPTUS* EM ESPAÇAMENTOS ADENSADOS VISANDO AO USO ENERGÉTICO


3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.


Assinatura do(a) autor(a)²

Ciente e de acordo:


Assinatura do(a) orientador(a)²

Data: 06 / 09 / 17

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente
- Submissão de artigo em revista científica
- Publicação como capítulo de livro
- Publicação da dissertação/tese em livro

²A assinatura deve ser escaneada.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
REGIONAL JATAÍ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**PRODUÇÃO E QUALIDADE DA BIOMASSA DE CLONES
DE *EUCALYPTUS* EM ESPAÇAMENTOS ADENSADOS
VISANDO AO USO ENERGÉTICO**

Maiara Aparecida Alves

Orientador: Prof. Dr. Robson Schaff Corrêa
Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Thelma Shirlen Soares

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Goiás – UFG, Regional Jataí, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

JATAÍ – GOIÁS – BRASIL

Julho – 2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Alves, Maiara Aparecida
PRODUÇÃO E QUALIDADE DA BIOMASSA DE CLONES DE
EUCALYPTUS EM ESPAÇAMENTOS ADENSADOS VISANDO AO
USO ENERGÉTICO [manuscrito] / Maiara Aparecida Alves. - 2017.
LXXXIV, 84 f.

Orientador: Prof. Dr. Robson Schaff Corrêa; co-orientadora Dra.
Thelma Shirlen Soares.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, ,
Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Jataí, 2017.

Bibliografia.

Inclui gráfico, tabelas.


1. Brotações. 2. Energia da Biomassa. 3. Eucalipto. 4. Nutrientes. I.
Schaff Corrêa, Robson, orient. II. Título.

CDU 630

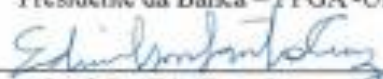


SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
REGIONAL JATAÍ
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
PRODUÇÃO VEGETAL

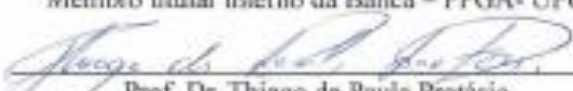
ATA DA REUNIÃO DA BANCA EXAMINADORA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MAIARA APARECIDA ALVES. - Aos vinte e seis dias do mês julho do ano de dois mil e dezessete (26/07/2017), às 08h00 min, reuniu-se no auditório do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Regional Jataí da UFG, A Banca Examinadora, composta pelos Professores Doutores: Robson Schaff Corrêa, Edmilson Santos Cruz e Thiago de Paula Protásio sob a presidência do primeiro, procederam na forma da resolução vigente a Defesa de Dissertação" de MAIARA APARECIDA ALVES discente do PPGA, curso de Mestrado, área de concentração em Produção Vegetal. Prova oral versou sobre o tema de sua dissertação com o título: **"PRODUÇÃO E QUALIDADE DA BIOMASSA DE CLONES DE *Eucalyptus* EM ESPAÇAMENTOS ADENSADOS VISANDO AO USO ENERGÉTICO"**. A sessão foi aberta pelo Presidente da Banca Examinadora, Prof. Dr. Robson Schaff Corrêa, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra a seguir, foi concedida ao autor da dissertação que, entre 30 a 45 minutos procedeu a apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da Banca arguiu o examinando, tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se à avaliação da defesa. Tendo em vista a Resolução nº.1143/2013 do Conselho de Ensino, Pesquisa, Extensão e Cultura (CEPEC), que regulamenta o Programa de Pós-Graduação em Agronomia e procedidas às correções recomendadas, a Comissão Examinadora emitiu seu parecer sobre a defesa realizada pelo (a) discente, considerando-a: (X) **APROVADA** () **REPROVADA** por unanimidade, a "Defesa de Dissertação" para fins da obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA pela Universidade Federal de Goiás. Lembrando que o encerramento deste processo avaliativo se dará após a entrega da versão definitiva da dissertação com as devidas correções sugeridas pela Banca Examinadora, bem como a entrega do artigo científico ou comprovante de submissão do mesmo em periódico Nacional e, ou, internacional, depois de procedidas as modificações sugeridas em detrimento da autorização do Professor (a) Orientador (a). Cumpridas as formalidades de pauta, às 14 horas, o Prof. Dr. Robson Schaff Corrêa, Presidente da Banca Examinadora encerrou a sessão, e para constar, lavrou-se a ATA, assinada em quatro vias de igual teor.



Prof. Dr. Robson Schaff Corrêa
Presidente da Banca – PPGA -UFG



Prof. Dr. Edmilson Santos Cruz
Membro titular interno da Banca – PPGA- UFG



Prof. Dr. Thiago de Paula Protásio
Membro titular externo da Banca

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Maiara Aparecida Alves - Filha de Altemiro Modesto Alves de Lima e Maria Aparecida dos Santos nasceu em 15 de Abril de 1992 em Jataí, GO, Brasil. É irmã de Rafael Lima dos Santos. É Engenheira Florestal, Especialista em Produção Florestal, formada pela Universidade Federal de Goiás/Regional Jataí, no ano de 2015. De Agosto de 2015 a Outubro de 2016 cursou o programa de Pós - graduação em Recursos Florestais pela Universidade Federal de Goiás/Regional Jataí. Em agosto de 2015 ingressou no Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal de Goiás/Regional Jataí, em nível de mestrado, na linha de pesquisa em Recursos Florestais sob a orientação do Prof. Dr. Robson Schaff Corrêa, onde trabalhou com avaliação nutricional, energética e de crescimento em florestas energéticas, adubação em sistema silvipastoril com a utilização de cama de aviário. Submetendo-se à defesa da dissertação em 26 de Julho de 2017.

DEDICATÓRIA

*A Deus por ter guiado os meus passos até aqui.
A minha família pelo apoio e por todo amor e carinho.*

AGRADECIMENTOS

Á Deus, por me permitir chegar até aqui, e por me permitir alcançar este sonho.

Ao Prof. Dr. Robson Schaff Corrêa, por ter aceitado me orientar, pela dedicação ao meu aprendizado, pela amizade, confiança, incentivo, compreensão e paciência. Meus sinceros agradecimentos e admiração, exemplo que levarei para toda vida.

Aos meus Amigos Cássio do Prado Borges, Eduardo Morais Vieira e Juliano Pereira de Sousa a amizade e o companheirismo de vocês foi essencial nesse trajeto.

Aos meus colegas do Núcleo de Estudo em Silvicultura Eduardo, Juliano, Patrícia, Paloma, Thayná, Verilaine e William, agradeço muito o apoio e o companheirismo.

A todos os meus professores e colegas do mestrado que estiveram presentes na minha vida durante este período e que contribuíram para que esse sonho chegasse até aqui.

A todos os meus familiares e amigos que sempre me apoiaram e me deram forças, especialmente ao Samuel Alves Maia Filho, que me apoiou em todas as etapas e dificuldades que vivi durante este processo, obrigada por estar ao meu lado sempre.

A Universidade Federal de Goiás pelo apoio financeiro por meio da concessão da bolsa.

Ao curso de Engenharia Florestal, pelo apoio durante a realização da minha pesquisa, a toda equipe e pelos laboratórios cedidos ao meu trabalho. E principalmente aos professores que sempre contribuíram para o meu crescimento pessoal e profissional, especialmente o Prof. Dr. Edmilson Santos Cruz pelos conselhos, amizade e o incentivo, e a Prof^a. Dr^a. Thelma Shirlen Soares por toda ajuda e conhecimento passado ao longo deste período.

SUMÁRIO

	Página
CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS	9
1 Eucalipto.....	10
2 Uso da biomassa florestal como energia.....	12
3 Alocação de nutrientes na biomassa.....	17
4 Crescimento de eucalipto em sistema de talhadia simples e ajuste de modelos hipsométricos	19
5 Referências	22
CAPÍTULO 2 – EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES EM CLONES DE EUCALIPTO EM ESPAÇAMENTOS ADENSADOS	29
Resumo.....	29
Summary.....	30
1 Introdução	31
2 Material e métodos.....	32
3 Resultados e discussão.....	35
4 Conclusões.....	41
5 Referências	41
CAPÍTULO 3 – QUALIDADE DA BIOMASSA AÉREA DE CLONES DE EUCALIPTO EM ESPAÇAMENTOS ADENSADOS PARA COMBUSTÃO	45
Resumo.....	45
Summary.....	46
1 Introdução	47
2 Material e métodos.....	48
3 Resultados e discussão.....	52
4 Conclusões.....	57
5 Referências	58
CAPÍTULO 4 - CRESCIMENTO DE CLONES DE EUCALIPTO E MODELAGEM HIPSOMÉTRICA EM FLORESTA ENERGÉTICA EM SISTEMA DE TALHADIA SIMPLES.....	63
Resumo.....	63
Summary.....	64
1 Introdução	65

2	Material e métodos.....	66
3	Resultados e discussão.....	70
3.1	Crescimento e sobrevivência.....	70
3.2	Modelagem hipsométrica.....	73
4	Conclusões.....	79
5	Referências.....	80
	CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	84

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

A evolução do consumo mundial de energia baseada em combustíveis fósseis conduziu a humanidade para uma matriz energética insegura, cara e negativa para o meio ambiente. Isso tem levado muitos países a considerarem a necessidade de mudanças, incluindo a intensificação do aproveitamento de outras fontes energéticas, sobretudo as renováveis, incluindo-se a madeira (BRITO, 2007). Segundo a FAO (2015) a utilização da biomassa florestal é uma fonte de energia renovável e neutra em CO₂, que, se usada de forma sustentável eficiente, pode contribuir para um ambiente mais limpo.

As espécies do gênero *Eucalyptus* apresentam um grande potencial de uso devido seu rápido crescimento, elevada produtividade e, também, por ser uma grande alternativa ao uso da madeira nativa na produção madeireira no Brasil (RAMOS et al., 2011). Além disso, a biomassa para energia oriunda de plantios do eucalipto apresenta custo médio de produção inferior aos preços de outras culturas usadas como combustível, sendo, portanto, a cultura mais recomendada para produção de biomassa (QUÉNO et al., 2011). Há no Brasil disponibilidade de terras ociosas ou com pastagens subutilizadas, as quais tem a silvicultura como boa opção para aproveitamento e geração de renda. O plantio destas áreas com florestas plantadas destinadas à produção de energia pode ser um importante instrumento de desenvolvimento econômico rural (MIRANDA, 2015).

1 EUCALIPTO

O gênero *Eucalyptus* pertencente à família Myrtaceae, foi descoberto pelos ingleses na Austrália em 1788, algumas publicações também fazem referência à Nova Zelândia, Tasmânia e a ilhas vizinhas. A sua disseminação no mundo se deu por volta do século XVIII, no Brasil sua introdução se deu no século XX (VENTURIM et al., 2013). Em estudos recentes o gênero *Eucalyptus* foi reclassificado de acordo com as características morfológicas e moleculares. Hill & Johnson (1995) propuseram uma nova classificação, e algumas das espécies formaram o novo gênero denominado *Corymbia*. Este gênero consta de 113 espécies, antes denominadas de *Eucalyptus* (VIEIRA, 2004).

Até o princípio do século XX, o eucalipto foi plantado como árvore decorativa, pelo seu extraordinário desenvolvimento como quebra-vento ou por supostas propriedades sanitárias. Deve-se à Companhia Paulista de Estradas de Ferro e Fluvial e a Dr. Edmundo Navarro de Andrade a expansão da eucaliptocultura, por meio da sistematização da cultura e inúmeras experiências. Em 1904, Dr. Edmundo Navarro de Andrade instalou os primeiros experimentos de natureza silvicultural para determinar uma espécie florestal capaz de fornecer madeira e lenha como combustível para suprir as necessidades da ferrovia. Após 6 anos de estudos comparativos entre espécies exóticas e nativas, no Horto Florestal de Jundiaí, chegou-se a conclusão de que o eucalipto deveria ser plantado em larga escala (BERTOLA, 2013).

A expansão do uso da madeira provinda da eucaliptocultura no Brasil foi intensificada pela criação do curso de Engenharia Florestal no Brasil, aumentando o atendimento a uma demanda por profissionais da área florestal. O código florestal brasileiro de 1965 instituiu que as empresas utilizassem matéria-prima florestal oriunda de plano de manejo florestal sustentável, que a supressão da vegetação natural ocorresse de forma autorizada, e permitindo o plantio de florestas plantadas; estas ações visaram diminuir o uso de madeira de florestas nativas e incentivou o plantio de eucalipto no Brasil. As Leis de Incentivos Fiscais, concedendo benefícios fiscais aos empreendimentos florestais determinaram uma nova era no setor florestal do país e impulsionaram a eucaliptocultura. Com o fim da Lei de Incentivos Fiscais, as empresas privadas fizeram investimentos para manter a produção própria e se associaram às universidades. Dentre estas empresas, a Aracruz Florestal

proporcionou grandes ganhos ao setor com a introdução da clonagem (VENTURIM et al., 2013).

As florestas com plantios de eucalipto no Brasil ocupam uma área de 5,6 milhões de ha⁻¹ plantadas principalmente nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Bahia, Rio Grande do Sul e Paraná (IBÁ, 2016). Em Goiás, segundo Reis et al. (2015), a área com cultivos de eucalipto foi estimada em 121.375 ha, cerca de 0,22% da produção nacional, com acréscimo acima de 18% na área plantada nos últimos sete anos. O principal uso da madeira provinda de florestas plantadas se dá principalmente para fins energéticos, para geração de energia térmica, mas com incremento na demanda ao longo dos anos para madeira in natura (toras), produtos de madeira sem industrialização ou semi-industrializados, madeira serrada, beneficiada, em lâminas e painéis.

A madeira de eucalipto para fins energéticos foi principalmente destinada à lenha e carvão vegetal. Goiás ocupou entre 2012 e 2013 a 5ª colocação entre os maiores produtores de lenha, onde a produção correspondeu a 4.498.379 m³, destinada a secagem de grãos, frigoríficos e indústrias do setor alimentício, de laticínio, de cerâmica e de mineração. Já a produção de carvão, é caracterizada por oscilações. Para madeira em toras a produção foi de 774.320 m³, suprindo principalmente fornos para secagem de grãos, na geração de vapor d'água em caldeiras esmagadoras de soja, laticínios, frigoríficos, fornos de mineradoras, fornos de cocção de alimentos em algumas pizzarias e panificadoras e em olarias e cerâmicas (REIS et al., 2015).

As florestas de plantios de eucalipto, quando manejadas de forma adequada, apresentam baixas perdas de solo pela erosão, devido às práticas de manejo como o cultivo mínimo adotado em quase todas as plantações florestais comerciais no Brasil, o manejo de resíduos, deixando no local o restante da biomassa, preservando o estoque de nutrientes do solo e o teor de matéria orgânica. As florestas plantadas apresentam um alto potencial de sequestro de carbono, podendo reter maior quantidade de carbono acima e abaixo do solo em comparação com os sistemas agrícolas tradicionais (OLIVEIRA et al., 2016). Os 7,8 milhões de hectares de área de plantio florestais no Brasil são responsáveis pelo estoque de aproximadamente 1,7 bilhão de toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO₂eq). Do percentual de carbono estocado em plantios florestais, para o gênero

Eucalyptus, no fuste são estocados 81,85%, 8,05% na casca, 7,74% nos galhos e 2,57% nas folhas (PAIXÃO et al., 2006).

O mercado de crédito de carbono incentivado pelo mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) permite a comercialização dos créditos de carbono, mercado que vem crescendo e acompanhando a tendência mundial de preservação do meio ambiente. Este mercado pode ser lucrativo e afeta positivamente tanto o retorno financeiro, quanto a imagem político-social. Os projetos de MDL podem envolver substituição de energia de origem fóssil por outras de origem renovável, e atividades de florestamento e reflorestamento (SILVA; MACEDO, 2012). Os reflorestamentos de eucalipto podem ser usados eficientemente, visto a cultura ser amplamente utilizada no país, e por se ter um eficiente estoque de carbono na biomassa aérea.

2 USO DA BIOMASSA FLORESTAL COMO ENERGIA

Os padrões atuais de produção e consumo de energia são baseados no uso das fontes fósseis, o que gera emissões de poluentes locais e gases de efeito estufa CO₂, CH₄ e NO₂, o que põe em risco o suprimento de longo prazo no planeta (GOLDEMBERG; LUCON, 2007). Isso tem levado muitos países a considerarem a necessidade de profundas mudanças, incluindo a intensificação do aproveitamento de outras fontes energéticas (BRITO, 2007), dentre elas a biomassa.

De acordo com a Diretiva 2001/77/CE, de 27 de setembro de 2001, a biomassa constitui a fração biodegradável de produtos e resíduos da agricultura (incluindo substâncias vegetais e animais), da floresta e das indústrias conexas, bem como a fração biodegradável dos resíduos industriais e urbanos. A biomassa de madeira inclui todo o material da árvore: tronco, ramos, folhas, casca e raízes (VIDAL; HORA, 2011).

A biomassa da madeira é uma fonte de energia renovável e neutra em CO₂, que, se usada de forma sustentável e eficiente, pode contribuir para um ambiente mais limpo. A madeira tem sido utilizada como fonte de combustível por milênios e ainda é usada por famílias em todo o mundo (FAO, 2015). Para uso energético, a madeira sempre ofereceu uma histórica contribuição, ao desenvolvimento da humanidade, tendo sido sua primeira fonte de energia empregada para aquecimento

e cocção de alimentos (BRITO, 2007). A madeira é uma importante fonte de energia para a maioria dos agregados familiares do Sudeste da Europa, a principal forma de combustível de madeira utilizada atualmente na região é a madeira em toras. Os pellets de madeira são utilizados principalmente em cidades maiores (áreas urbanas), enquanto os cavacos de madeira estão entrando lentamente no mercado (FAO, 2015).

A madeira participa da matriz energética mundial, com maior ou menor intensidade, dependendo da região considerada (BRITO, 2007). O Brasil utiliza cerca de 41,2% de fonte de energias renováveis na matriz energética brasileira, onde a madeira e seus subprodutos representam 8,2% do uso (BRASIL, 2016). Ao longo dos tempos, a madeira passou a ser utilizada como combustível sólido, líquido e gasoso, em processos para a geração de energia térmica, mecânica e elétrica (BRITO, 2007). Além dos usos diretos da madeira na forma de lenha e cavacos pode-se utilizar a mesma nos processos de conversão da biomassa, gerando, como principais produtos calor, carvão, etanol, briquetes etc (Figura 1).

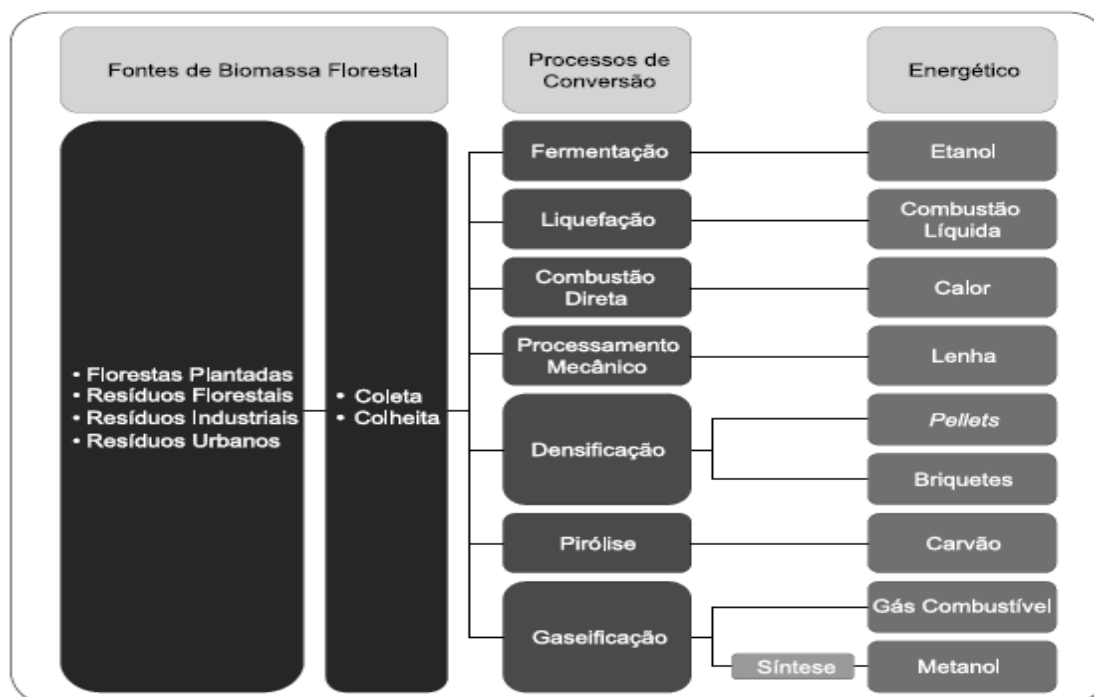


Figura 1. Processos de conversão energética da biomassa de madeira. Fonte: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), com base em Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) (2005).

Os requisitos básicos de uma espécie, para ser utilizada na produção de energia segundo Brand (2010) são: rápido crescimento, tolerância à alta densidade populacional, alta massa específica, possibilidade de uso da talhadia (COUTO;

MÜLLER, 2008; SANTOS et al., 2013), maior poder calorífico (BRAND, 2010) e baixo teor de umidade. O gênero *Eucalyptus* é o mais utilizado para implantação de florestas energéticas, com a utilização de híbridos interespecíficos como os de *E. grandis* x *E. urophylla*, que apresentam alta plasticidade e características mais desejáveis à produção energética (COUTO; MULLER, 2008).

Neste sentido, é primordial a seleção de espécies que apresentem características favoráveis para geração de bioenergia, sendo que o poder calorífico, os teores de lignina, a constituição química e a umidade estão entre os principais critérios de seleção da madeira (NEVES et al., 2011). Apesar das inúmeras características favoráveis à utilização energética, a madeira apresenta alta variabilidade, que, segundo Reis et al. (2012), pode ser explicada por diversos fatores, tais como clima, solo, sítio, fatores genéticos, tratamentos silviculturais. E principalmente, por sua estrutura química e anatômica (OLIVEIRA et al., 2010).

Para queima direta são requeridas madeiras com maior poder calorífico (BRAND, 2010; CARNEIRO et al., 2014) e maiores teores de lignina, pois estes podem aumentar o poder calorífico (DEMIRBAS, 2001) por a lignina ser rica em carbono e hidrogênio que são os elementos que produzem energia (BRAND, 2010). Na seleção de clones de *Eucalyptus* para a produção de energia, é fundamental a quantificação do poder calorífico, uma vez que essa característica é um excelente parâmetro para se avaliar a potencialidade energética de combustíveis de biomassa (BRAND, 2010). No poder calorífico superior a combustão se efetua a volume constante, a água formada durante a combustão é condensada e o calor que é derivado desta condensação é recuperado (BRIANE; DOAT, 1985). Como esse valor é teórico, para efeitos práticos é calculado o poder calorífico inferior, no qual é descontada a energia gasta para a liberação do hidrogênio de constituição (BRAND et al., 2014). O poder calorífico inferior é a energia efetivamente disponível por unidade de massa de combustível após deduzir as perdas com a evaporação da água (JARA, 1989). Portanto, o poder calorífico inferior (PCI), ao contrário do poder calorífico superior (PCS), é a quantidade de energia disponível, quando não se considera o calor latente de condensação da umidade presente nos produtos de combustão. Já o poder calorífico líquido (PCL) é a quantidade de energia útil gerada na combustão do material (FURTADO et al., 2012).

Madeiras com maior densidade básica resultam em maior quantidade de energia concentrada por se ter maior massa de combustível contida na mesma

unidade de volume (FREDERICO, 2009). A densidade básica da madeira é um parâmetro referencial para a seleção de espécies florestais indicadas para a produção de energia. Sua importância ocorre desde o plantio, pois espécies de maior densidade resultam em maior produtividade em massa de madeira por unidade de área, até o processamento final, na colheita, pois madeiras de maior densidade propiciam a redução dos custos de transporte, uma vez que será transportada maior massa de madeira para a mesma unidade de volume (VITAL et al., 2013).

Outro parâmetro importante de análise da madeira para produção de energia é a densidade energética, a qual se refere à quantidade de energia liberada por volume. A densidade energética interfere no volume de biomassa consumida no processo de queima e no tamanho do silo de armazenamento de biomassa de uma máquina, quando se associa a quantidade de energia necessária e as características do material (PEREIRA et al., 2016).

Quando a madeira é utilizada para geração de energia, a umidade exerce influência negativa na quantidade de calor liberado durante a queima, diminuindo a eficiência energética. Durante a queima da madeira, parte da energia liberada é utilizada para evaporar a água relativa ao teor de umidade, diminuindo o poder calorífico superior (LIMA et al., 2008). Ainda segundo o mesmo autor, cada unidade de umidade que aumenta, diminui-se $0,1858 \text{ kJ kg}^{-1}$ no poder calorífico da madeira de *E. benthamii*. Em termos práticos, cada tonelada de madeira queimada com 30% de umidade equivale a 1,37 toneladas de madeira queimada com 50% de umidade.

A constituição química da madeira é caracterizada pela presença dos componentes elementares, macromoleculares, extrativos e cinzas (SANTANA, 2009) que influenciam a geração de energia e constituem a base para análise dos processos de combustão (CORTEZ et al., 2008). Normalmente a madeira possui cerca de 50% de carbono, 6% de hidrogênio, 45% de oxigênio e de 0,1% a 1% de nitrogênio.

A quantificação dos teores dos componentes elementares da madeira, ou seja, carbono, hidrogênio, oxigênio, enxofre e nitrogênio são importantes, pois estão relacionados ao valor calórico e ao desempenho energético de combustíveis da biomassa vegetal (DEMIRBAS, 2004). O teor de carbono é importante tanto para a produção de carvão vegetal quanto para a queima direta da madeira. Na queima direta, ele é totalmente consumido, enquanto na produção de carvão vegetal o

carbono é convertido em carbono fixo, sendo esse o principal responsável pela energia estocada no carvão. O hidrogênio libera, durante a queima, mais energia do que o carbono, mesmo estando presente na madeira em pequenas quantidades. O oxigênio contribui negativamente para o poder calorífico, de forma que compostos com maiores teores de oxigênio implicam menor energia armazenada (CARNEIRO et al., 2014).

As relações entre carbono e nitrogênio também são importantes, visto a liberação de gases no ambiente. Altas relações C/N, ou baixas relações N/C, implicam em quantidade menor de nitrogênio a ser liberada para o ambiente após a combustão da biomassa, gerando menor poluição do ar. Além disso, a combustão libera o dióxido de carbono para a atmosfera e a relação C/N interfere na velocidade de liberação, juntamente com a umidade do material combustível (LEITE et al., 2015).

Os elementos enxofre e nitrogênio têm efeitos nocivos diretos sobre o nível de emissões de gases produzido pela combustão, pois quanto maior o seu conteúdo no combustível, maior a sua presença nas emissões para a atmosfera. O teor de nitrogênio em combustíveis de madeira é relativamente baixo, o qual tem impacto direto na formação de óxidos de nitrogênio, que, durante a combustão, tornam-se gasosos e não permanecem nas cinzas, podendo promover a formação de chuva ácida, a acidificação de solos e a corrosão nos equipamentos (DEMIRBAS, 2004).

O teor de cinzas é expresso em porcentagem e representa o conteúdo de material inorgânico presente na madeira (FURTADO et al., 2012). Após a queima, a cinza refere-se à porção residual da madeira e, por ser um material abrasivo, pode causar problemas de corrosão em equipamentos metálicos (BRITO, 1979), estando presente geralmente em maior quantidade na casca (MARABOTO et al., 1989). Os minerais presentes na madeira são importantes do ponto de vista energético, pois quando queimados em caldeiras, fornalhas, podem formar incrustações nos equipamentos e tubulações. Esses minerais encontram-se presentes em combinações com compostos orgânicos, os principais minerais encontrados são cálcio, magnésio e fósforo. As proporções de casca na madeira, como a proporção de madeira juvenil afetam a quantidade de minerais na madeira, madeiras com maior teor de lenho juvenil e casca apresentam maiores quantidades de elementos minerais, por o lenho possuir maior quantidade ativa de alburno, e a casca pode-se

encontrar entre 10 e 15% do peso da árvore, contendo de 2-5% de elementos minerais (BARCELLOS et al., 2005).

3 ALOCAÇÃO DE NUTRIENTES NA BIOMASSA

A produção de uma floresta é determinada pela quantidade de radiação solar interceptada pela copa e pela eficiência de conversão da radiação em biomassa. Essa eficiência é influenciada principalmente pela disponibilidade de água e de nutrientes (SANTANA et al., 2008).

Os reflorestamentos no Brasil têm se concentrado em solos com baixa reserva de nutrientes, acidez elevada e altos teores de alumínio (SILVEIRA; GAVA, 2004). O eucalipto é uma das poucas espécies que possui adaptabilidade aos solos de baixa fertilidade devido à ocorrência de solos pouco férteis em seu país de origem, respondendo positivamente à fertilização, o que vem resultando em aumentos na produtividade (BERTOLA, 2006).

As relações de água e nutrientes têm influência significativa na produtividade florestal, isto é, quanto maior a produção, maior a absorção de água e o acúmulo de nutrientes pelas árvores, ocorrendo forte pressão sobre os recursos do solo (BARROS et al., 2005). Para a manutenção da produtividade, há a necessidade de repor os nutrientes exportados pela colheita da madeira e perdidos por outros processos. A não adoção dessa técnica é uma das causas da redução da produtividade em plantações de eucalipto nas áreas com solos de baixa fertilidade (CAMARGO et al., 2004).

Devido ao ciclo de corte curto, ocorre alta competição por água, luz e nutrientes entre as plantas (SILVEIRA et al., 2014), ocasionando elevada demanda de nutrientes nestes povoamentos. O estudo do uso destes nutrientes, da sua absorção e de sua distribuição na planta pode contribuir para suprir as necessidades nutricionais das espécies florestais, favorecendo um ciclo nutricional fechado e reduzindo a exportação de nutrientes (LÚCIO et al., 2010).

Em espécies de *Eucalyptus* spp. o teor de nutrientes pode variar de acordo com a idade nos diferentes compartimentos da planta. Segundo Santana et al. (2008), em *Eucalyptus* spp. cultivados em diversas regiões no Brasil, aos 4,5 anos

de idade, apresentaram maior teor de nutrientes em idades mais jovens, decaindo o teor de nutrientes com o aumento da idade. Segundo Viera et al. (2012), em idades mais novas o teor de nutrientes é maior nas folhas, galhos e fuste, provavelmente devido a maior atividade metabólica e maior proporção de galhos e folhas, com maiores teores de N, P e S nas folhas. Comportamento semelhante foi encontrado por Guimarães et al. (2015) em *E. dunnii* aos 4 anos, em que os teores de macronutrientes tiveram maior acúmulo nas folhas e os teores de micronutrientes, na raiz e folhas.

A elevada concentração de nutrientes nas folhas leva a um maior potencial de ciclagem de nutrientes, embora represente um pequeno percentual em relação à biomassa total das árvores (SCHUMACHER e CALDEIRA, 2001). Na madeira e na casca do eucalipto, estão as maiores quantidades de nutrientes (VIERA et al., 2012).

Solos com baixos teores de nutrientes disponíveis às plantas, aliados ao curto ciclo de corte e elevada exportação de nutrientes pela madeira, indicam que a sustentabilidade dos povoamentos, a curto ou a longo prazo, estará condicionada ao monitoramento nutricional e a utilização de fertilizantes (SILVEIRA et al., 2001). A avaliação nutricional e a sua correta reposição após a colheita possui um importante papel no crescimento e, posteriormente, na produção, onde Sette Júnior et al. (2010) encontraram aumento do crescimento em diâmetro aos 24 meses, em *E. grandis*, em função da aplicação de potássio, com taxas de absorção dos nutrientes diferentes entre os clones, mesmo sob as mesmas condições de fertilidade do solo.

Entre os fatores de produção, os aspectos ligados à nutrição das plantas são os que apresentam o maior potencial de manejo, seja pela capacidade de limitar a produtividade, seja pela ampla gama de insumos industrializados e resíduos que podem ser utilizados na fertilização e correção do solo, além de inúmeras práticas de manejo que visam à manutenção da capacidade produtiva dos sítios florestais. Normalmente a colheita é a principal via de exportação de nutrientes dos sítios florestais, sobretudo se realizada em rotações curtas e envolvendo outros componentes da biomassa, além da madeira (WITSCHORECK; SCHUMACHER, 2013).

Segundo Nambier e Fife (1987), a taxa de crescimento das árvores, mais do que a disponibilidade de nutrientes no solo, é o principal fator controlador da retranslocação e, em espécies florestais, a retranslocação dos nutrientes dentro da planta constitui uma fonte de suprimento importante. A sustentabilidade de um

ecossistema florestal, entre outros fatores, está associada com a estabilidade do balanço de nutrientes no curto, médio e longo prazos.

O emprego de técnicas de manejo que optem por plantas mais eficientes em utilizar nutrientes, que conservem os resíduos das culturas no sítio, que realizem o mínimo possível de intervenções antrópicas e cujo ciclo de crescimento seja longo o suficiente para permitir a máxima eficiência da ciclagem de nutrientes levará à maior conservação do ecossistema de florestas plantadas (SANTANA et al., 2002) sendo um dos aspectos fundamentais para a sustentabilidade da atividade florestal, onde o manejo florestal deve possibilitar a manutenção de um fluxo contínuo entre o que é depositado no solo e o que é assimilado pelas raízes (SCHUMACHER; CALDEIRA, 2001).

Do ponto de vista nutricional, uma espécie eficiente é capaz de sintetizar o máximo de biomassa por nutriente absorvido. Os genótipos que são altamente eficientes na conversão de nutrientes absorvidos em biomassa podem ser plantados em solos menos férteis ou receber menos fertilização (ROSIM et al., 2016).

As culturas florestais são, portanto, de grande interesse do ponto de vista energético; contudo, em termos silviculturais é sempre necessário pensar em longo prazo, tendo em vista a exportação de nutrientes no sítio, quando se pretende utilizar além do tronco, também a copa das árvores. Esta, conforme a idade pode conter mais de 50% dos nutrientes da biomassa. Neste sentido, é fundamental fazer um balanço nutricional completo, estimando-se a biomassa exportada e os nutrientes exportados e reutilizados ao longo das rotações (POGGIANI et al., 1984).

4 CRESCIMENTO DE EUCALIPTO EM SISTEMA DE TALHADIA SIMPLES E AJUSTE DE MODELOS HIPSOMÉTRICOS

Como sistema silvicultural de florestas para fins energéticos, a utilização da talhadia simples surge como uma alternativa viável economicamente, quando se tem rendimentos de produtividade de, no mínimo, 70% do povoamento inicial (GUEDES et al., 2011), tendo a possibilidade de dois ou mais cortes e baixos custos de condução da brotação (RIBEIRO; GRAÇA, 1996), simplicidade de execução do corte e ciclos de cortes mais curtos, antecipando os retornos financeiros (LAMPRECHT, 1990).

O crescimento das brotações do eucalipto se deve às reservas orgânicas e inorgânicas do sistema radicular que são importantes durante a quebra de dormência das gemas e, posteriormente, para o crescimento inicial das brotações. O potencial de emissão de brotação pelas cepas é importante para assegurar a pronta regeneração do povoamento florestal. A quebra da dormência das gemas deve acontecer imediatamente, de modo a garantir a retomada de crescimento da planta (REIS; REIS, 1997).

O rápido crescimento das brotações pode levar o povoamento a atingir a capacidade do sítio em idades mais jovens em razão do maior índice de área foliar, em comparação com os povoamentos de alto fuste. O maior índice de área foliar levará a maior demanda por nutrientes dos povoamentos de brotação. Assim, ao se deixar os brotos crescerem por 6 a 12 meses e, em seguida, proceder-se à desbrota, deixando um broto por cepa, reduz-se temporariamente a área foliar e a demanda nutricional. Ocorrendo a possibilidade de nova fase de crescimento em biomassa foliar, que dependerá dos nutrientes do solo. Se o solo contém baixos teores nutricionais poderá ocorrer o aparecimento de sintomas de deficiências minerais mais intensos porque os nutrientes imobilizados nos brotos cortados não terão sido ainda mineralizados (BARROS et al., 1997).

Durante a regeneração da brotação, pode ocorrer queda acentuada na produção devido principalmente à percentagem de regeneração, ou ao desenvolvimento dos brotos (SIMÕES; COTO, 1985), levando a quedas na produção final, em relação ao sistema de alto fuste. Santos et al. (2012) sugerem que a diferença em produção pode ocorrer de acordo com o clone, o local e a carga genética, explicando a variação entre clones, além do ambiente, que pode oferecer condições favoráveis ou não para o desenvolvimento.

O manejo adequado, como o corte em períodos chuvosos visando a sobrevivência e vigor das mudas pode assegurar a alta produção (COUTO; MULLER, 2008). Além disso, o manejo visando o controle de formigas, fertilização, gestão do sistema de colheita, a altura de corte, a desbrota, quando conduzidos corretamente podem favorecer o desenvolvimento das brotações (FERRARI et al., 2004). O manejo das brotações deve incluir a desobstrução da cepa e o reespaçamento do povoamento, de modo a obter a população de plantas do povoamento original, ou seja, aquela população ideal para as condições do sítio em

questão, de maneira a permitir a manutenção de brotos vigorosos e estrategicamente distribuídos na cepa e no povoamento (REIS; REIS, 1997).

A existência de um sistema radicular já desenvolvido, quando os brotos passam a depender mais diretamente do solo, é muito importante no processo de absorção de água e nutrientes. Sob condições adequadas de suprimento de água no solo, os estômatos das brotações permanecem abertos durante o dia, que, por possuir maior superfície de absorção, podem apresentar perda de água superior ao observado em plantas da primeira rotação, de mesma idade. Assim, devem ser adotadas técnicas de manejo que resultem em aumento da disponibilidade de água e nutrientes e comprometimento mínimo das cepas e das propriedades físicas do solo (REIS; REIS, 1997).

A estimativa de volume de madeira em povoamentos florestais de eucalipto é de fundamental importância e imprescindível para o planejamento e o monitoramento dos plantios comerciais, especialmente em estudos de crescimento e produção, bem como para a quantificação de multiprodutos. Dessa forma, utilizam-se equações em qualquer procedimento de estimativa do volume da árvore (LEITE et al., 2011).

A altura é uma variável importante para a obtenção do volume. Entretanto, é difícil de ser mensurada, e quando determinada para todos os indivíduos por hipsômetros, sob condições inadequadas de visibilidade da copa das árvores e topografia, podem acarretar procedimentos demorados e de alto custo, apresentando erros graves de medição e proporcionando aumento do viés no inventário (SCOLFORO, 1997). Devido a isso, é apropriado medir o diâmetro de todas as árvores do local amostrado e apenas algumas alturas. As alturas restantes são estimadas por modelos matemáticos denominados hipsométricos, onde há estimativa da altura das árvores remanescentes (BARTOSZECK et al., 2004). A relação hipsométrica promove maior facilidade e economia na obtenção de dados, pois há uma redução no número de mensurações realizadas da variável altura sem perder consideravelmente a precisão dos valores estimados (AZEVEDO et al., 2011).

As relações hipsométricas podem ser classificadas em locais, estas são em função apenas do DAP e podem ser aplicadas apenas para o povoamento em que os dados foram medidos ou em povoamento com características homogêneas. Já as relações hipsométricas gerais, além de recorrerem ao DAP também exprimem a

altura da árvore em função da altura dominante, o diâmetro dominante, a densidade e a idade (TOMÉ et al., 2007). Para se ajustar modelos hipsométricos é necessária a classificação e separação dos sítios quanto ao solo, relevo, clima, dentre outros, para que essas variações sejam minimizadas durante os procedimentos estatísticos (SCOLFORO, 1993).

Os modelos podem ser lineares simples e modelos lineares múltiplos, estes modelos lineares, são definidos como aqueles cuja estrutura se encontra na forma aditiva dos parâmetros (CHARNET et al., 2008), e não lineares, estes possuem seus parâmetros agregados na forma não aditiva e podem ser classificados como linearizáveis e não linearizáveis (DRAPE e SMITH, 1981). A seleção do modelo hipsométrico que apresenta melhor desempenho tem se baseado no valor de F (THOMAS et al., 2006), erro padrão da estimativa (S_{yx}) (MACHADO et al., 2008; THOMAS et al., 2006), coeficiente de variação (CV%) (SCOLFORO, 1993), coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$) (SOUSA et al., 2013) e na análise gráfica dos resíduos (RUFINO et al., 2010).

A escolha correta do modelo permite caracterizar o comportamento da altura das árvores nas quais esta variável não foi medida em diferentes locais ao longo do tempo (SOARES et al., 2011), reduzindo o tempo e o custo do levantamento de dados no inventário florestal (RIBEIRO et al., 2010).

5 REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, T. L.; MELLO, A. A.; FERREIRA, R. A.; SANQUETTA, C. R.; NAKAJIMA, N. Y. Equações hipsométricas e volumétricas para um povoamento de *Eucalyptus* sp. localizado na FLONA do Ibura, Sergipe. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 1, p. 105-112, jan./mar. 2011.
- BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F. Fertilidade de solos, nutrientes e produção florestal. **Visão Agrícola**, USP/ESALQ, n.4, p. 76-79, 2005.
- BARROS, N. F.; TEIXEIRA, P. C.; TEIXEIRA, J. L. Nutrição e produtividade de povoamentos de eucalipto manejados por talhadia. **Série técnica - IPEF**, v.11, n.30, p.79-88, 1997.
- BARTOSZECK, A. C. P. S.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; OLIVEIRA, E. B. Dinâmica da relação hipsométrica em função da idade, do sítio e da densidade inicial de povoamentos de bracatinga da região metropolitana de Curitiba, Paraná. **Revista Árvore**, Viçosa, v.28, n.4, p.517-533, 2004.

BERTOLA, A. **Eucalipto-100 anos de Brasil - “Falem mal, mas continuem falando de mim!”**. Setor de Inventário Florestal–V&M Florestal Ltda, Curvelo-MG, 91p, 2013. Disponível em: http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Eucalipto_100%20anos%20de%20Brasil_Alexandre_Bertola.pdf. Acesso em: 28 maio 2017.

BERTOLA, A. **Eucalipto: verdades e mentiras**. 2006. Disponível em: <http://www.celuloseonline.com.br/imagembank/Docs/DocBank/dc/dc009.pdf>. Acesso em: 31 mai. 2017.

BRAND, M. A. **Energia da biomassa florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 131 p.

BRAND, A. M.; MUÑIZ, G. I. B.; BRITO, J. O.; QUIRINO, W. F. Influência das dimensões da biomassa estocada de *Pinus taeda* L. e *Eucalyptus dunnii* Maiden na qualidade do combustível para geração de energia. **Revista Árvore**, v. 38, n. 1, 2014.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balço energético nacional 2016: Ano base 2015**. Rio de Janeiro: EPE, 2016, 294 p.

BRIANE, D.; DOAT, J. **Guide technique de la carbonisation: la fabrication du charbon de bois**. Aix-en-Provence, ÉDISUD, 1985. 180p.

BRITO, J. O. O uso energético da madeira. **Estudos Avançados**, SBS, v. 21, n. 59, p. 185-193, 2007.

BRITO, J. O. **Queima ou combustão da madeira para fins energéticos**. Piracicaba: ESALQ/Departamento de Silvicultura, 1979. 36 p.

CAMARGO, M. L. P.; MORAES, C. B.; MORI, E. S.; GUERRINI, I. A.; MELLO, E. J.; ODA, S. Considerações sobre eficiência nutricional em *Eucalyptus*. **Científica**, Jaboticabal, v. 32, n. 2, p. 191-196, 2004.

CARNEIRO, A. C. O.; CASTRO, A. F. N. M.; CASTRO, R. V. O.; SANTOS, R. C.; FERREIRA, L. P.; DAMÁSIO, R. A. P.; VITAL, B. R. Potencial energético da madeira de *Eucalyptus* sp. em função da idade e de diferentes materiais genéticos. **Revista Árvore**, v. 38, n. 2, 2014.

CHARNET, R.; FREIRE, C. A.; CHARNET E. M. R.; BONVINO H. **Análise de modelos de regressão linear com aplicações**. 2.ed. Campinas: Unicamp, 2008, 356p.

COMISSÃO EUROPÉIA, **Directiva 2001/77/EC**: Promoção da electricidade produzida a partir de fontes de energia renovável no mercado interno de electricidade. 27 de Setembro de 2001.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; AYARZA, J. A. C. **Biomassa para energia: Biomassa no Brasil e no mundo**. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2008. 734 p.

COUTO, L.; MÜLLER, M. D. Biomassa para energia. In: CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMES, E. O. **Florestas energéticas no Brasil**. Campinas–SP: editora Unicamp, 2008.p. 93- 109.

DEMIRBAS, A. Relationships between lignin contents and heating values of biomass. **Energy Conversion and Management**, Amsterdam, v. 42, n. 2, p. 183-188, 2001.

DEMIRBAS, A. Combustion characteristics of different biomass fuels. **Progress in Energy and Combustion Science**, v.30, n.2, p.219-230, 2004.

DRAPER, N. M.; SMITH, H. **Applied Regression Analysis**. 2.ed., New York, Wiley. 1981, 709p.

FAO - Food and Agriculture organization of the United Nations. **Wood fuels handbook**. Pristina, 2015. 40 p. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i4441e.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2017.

FERRARI, M. P.; FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. **Condução de plantios de *Eucalyptus* em sistema de talhadia**. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. 28 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 104).

FURTADO, T. S.; CECCATO, J. F.; BRAND, M. A.; NEVES, M. D. Correlação entre teor de umidade e eficiência energética de resíduos de *Pinus taeda* em diferentes idades. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 3, 2012.

FREDERICO, P. G. U. **Influência da densidade e composição química da madeira sobre a qualidade do carvão de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e de híbridos de *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake**. 2009. 66f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. **Estudos avançados**, SBS, v. 21, n. 59, p. 7-20, 2007.

GUEDES, I. C. L.; COELHO JÚNIOR, L. M. C.; OLIVEIRA, A. D.; MELLO, J. M.; REZENDE, J. L. P.; SILVA, C. P. C. Economic analysis of replacement regeneration and coppice regeneration in *Eucalyptus* stands under risk conditions. **Cerne**, MG, v. 17, n. 3, p. 393-401, jul./set. 2011.

GUIMARÃES, C. C.; SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R.; SOUZA, H. P.; SANTO, J. C. Biomassa e nutrientes em povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden no Pampa Gaúcho. **Revista Árvore**, Viçosa, v.39, n.5, p.873-882, set./out. 2015.

IBÁ - Indústria Brasileira De Árvores. **Anuário estatístico IBÁ 2016: ano base 2015**. Brasília: IBÁ, 2016, 100p. Disponível em: <[http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2016 .pdf](http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2016.pdf)>. Acesso em: 13 maio 2017.

JARA, E. R. P. O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil. São Paulo: **Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT**, 1989.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas, possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado**. Eschborn: GTZ, 1990, 343 p.

LEITE, H. G.; OLIVEIRA NETO, R. R.; MONTE, M. A., FARDIN, L.; ALCÂNTARA, A. M.; BINOTI, M. L. M. S.; CASTRO, R. V. O. Modelo de afilamento de cerne de *Tectona grandis* Lf. **Revista Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 89, p.53-59, mar. 2011.

LEITE, E. R. S.; PROTÁSIO, T.P.; ROSADO, S. C.S.; TRUGILHO, P. F.; MELO, I. C. N. A. Qualidade do carvão vegetal produzido a partir da madeira do cafeeiro, para uso bioenergético. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 2, p. 251-261, abr./jun. 2015.

- LIMA, E. A.; ABDALA E. M.; WENZEL, A. A. Influência da umidade no poder calorífico superior da madeira. **Embrapa Florestas-Comunicado Técnico**, Colombo PR, 2008.
- LÚCIO, A. D. C.; ROSSATO, R. A. R. D.; SCHUMACHER, M. V.; FORTES, F. D. O.; STORCK, L.; WITSCHORECK, R. Limits of caution and control in nutritional analysis of forest species. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 529-537, 2010.
- MACHADO, S. A.; NASCIMENTO, R. G. M.; AUGUSTYNCZIK A. L. D.; SILVA, L. C. R.; FIGURA, M. A., PEREIRA, E. M., TÉO, S. J. Comportamento da relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia* no capão da Engenharia Florestal da UFPR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n.56, p.5-16. 2008.
- MARABOTO, M.T.; CUNHA, M. P. S. C.; PONTES, C. L. F.; CRUZ, I. A.; CUNHA, Z. B. Poder calorífico e pirólise de dez espécies florestais da Amazônia brasileira - peruana. In: Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, 3., São Carlos, 1989. **Anais...** São Carlos:EESC; LaMEN, 1989. v. 3, p.7-28.
- MIRANDA, M. A. S. **Potencial da biomassa florestal para produção de energia térmica industrial**. 2015. 48 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal de Viçosa, MG.
- NAMBIER, E. K. S.; FIFE, D. N. Growth and nutrient retranslocation in needles of Radiata Pine in relation to nitrogen supply. **Annals of Botany**, v. 60, n. 2, p. 147-156, 1987.
- NEVES, T. A., PROTÁSIO, T. P.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, V. O.; VIEIRA, C. M. M. Avaliação de clones de *Eucalyptus* em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 68, p. 319, out./dez. 2011.
- OLIVEIRA, E. B.; OLIVEIRA, Y. M. M.; SCHAITZA, E. G. Plantações florestais comerciais e a biodiversidade. In: OLIVEIRA, Y. M. M.; FRITZSONS, E.; QUEIROZ, E.C. **Plantações florestais: Geração de benefícios com baixo impacto ambiental**. Embrapa florestas, 2016. 100p.
- OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO A. C. O.; VITAL, B. R.; ALMEIDA, W.; PEREIRA, B. L. C.; CARDOSO, M.T. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Scientia Forestalis**, v.38, n. 87, p. 431-439, 2010.
- PAIXÃO, F. A.; SOARES, C. P. B.; JACOVINE, L. A. G.; SILVA, M. L. D.; LEITE, H. G.; SILVA, G. F. D. Quantificação do estoque de carbono e avaliação econômica de diferentes alternativas de manejo em um plantio de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.30, n.3, p.411-420, 2006.
- PEREIRA, M. P. C. F.; COSTA, E. V. S.; PEREIRA, B. L. C.; CARVALHO, A. M. M. L.; CARNEIRO, A. C. O.; COSTA, A. Torrefação de cavacos de eucalipto para fins energéticos. **Pesquisa florestal brasileira**, Colombo, v. 36, n. 87, p. 269-275, jul./set. 2016.
- POGGIANI, F.; ZEN, S.; MENDES, F. S.; SPINA-FRANÇA, F. Ciclagem e exportação de nutrientes em florestas para fins energéticos. **Série Técnica - IPEF**, v. 27, p. 17-30, 1984.
- QUÉNO, L. M. R.; SOUZA, A. N. D.; ÂNGELO, H.; VALE, A. T.; MARTINS, I. S. Custo de produção das biomassas de eucalipto e capim-elefante para energia. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 3, p. 417-426, jul./set. 2011.

- RAMOS, L. M. A.; LATORRACA, J. V. F.; PASTRO, M. S., SOUZA; M. T. D.; GARCIA, R. A.; CARVALHO, A. M. Variação radial dos caracteres anatômicos da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill Ex Maiden e idade de transição entre lenho juvenil e adulto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 92, p. 411-418, dez. 2011.
- REIS, C. F.; MORAES, A.C.; PEREIRA, A. V.; AGUIAR, A. V.; SOUSA, V. A.; BORGES, H. M. D. **Diagnóstico do Setor de Florestas Plantadas no Estado de Goiás**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. 139 p.
- REIS, A. A.; PROTÁSIO, T. P.; MELO, I. C. N. A.; TRUGILHO, P. F.; CARNEIRO, A. D. C. O. Composição da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus urophylla* em diferentes locais de plantio. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 71, p. 277, 2012.
- REIS, G. G.; REIS, M. G. F. Fisiologia da brotação de eucalipto com ênfase nas suas relações hídricas. **Série Técnica - IPEF**, v. 11, n. 30, p. 9-22, 1997.
- RIBEIRO, A.; FERRAZ FILHO, A. C.; MELLO, J. M.; FERREIRA, M. Z.; LISBOA, P. M. M.; SCOLFORO, J. R. S. Estratégias e metodologias de ajuste de modelos hipsométricos em plantios de *Eucalyptus* sp. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 1, p. 22-31, jan./mar. 2010.
- RIBEIRO, C. A. A. S.; GRAÇA, L. R. Manejo por talhadia: estabelecimento das idades ótimas de corte. **Revista árvore**, Viçosa - MG, v.20, n.1, p.29-36, 1996.
- ROSIM, C. C.; HSING, T. Y.; PAULA, R. C. Nutrient use efficiency in interspecific hybrids of eucalypt. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 47, n. 3, p. 540-547, jul./set. 2016.
- RUFINO, R. F., MIGUEL, E. P., SANTOS, G. A., SANTOS, T. E. B., SOUZA, F. Ajuste de modelos hipsométricos para um povoamento de eucalipto conduzido sobre o sistema de rebrota. **Enciclopédia Biosfera**, v.6, n.10, 2010.
- SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; LEITE, H. G.; COMERFORD, N. B. Alocação de nutrientes em plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2723-2733, 2008.
- SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Eficiência de utilização de nutrientes e sustentabilidade da produção em procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em sítios florestais do estado de São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 447-457, 2002.
- SANTOS, R. C.; CARNEIRO, A. C. O.; PIMENTA, A. S.; CASTRO, R. V. O.; MARINHO, I. V.; TRUGILHO, T. P.; ALVES, I. C. N.; CASTRO, A. F. N. M. Potencial energético da madeira de espécies oriundas de plano de manejo florestal no Estado do Rio Grande do Norte. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 2, p.491-502, abr./jun. 2013.
- SANTOS, L. C.; CARVALHO, A. M. M. L.; PEREIRA, B. L. C.; OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A. C. O.; TRUGILHO, P. F. Propriedades da madeira e estimativas de massa, carbono e energia de clones de *Eucalyptus* plantados em diferentes locais. **Revista Árvore**, Viçosa, v.36, n. 5, p. 971-980, set./out. 2012.
- SANTANA, W. M. S. **Crescimento, produção e propriedades da madeira de um clone de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* com enfoque energético**. 2009. 91 f. Dissertação (Mestrado em ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras: UFLA.

SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus globulus* (Labillardière) sub-espécie *maidenii*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, 2001.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal 2: técnica de regressão aplicada para estimar: volume, biomassa, relação hipsométrica e múltiplos produtos de madeira**. Lavras-MG: UFLA/FAEPE, Universidade Federal de Lavras, Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão, 1997. 292 p.

SCOLFORO, J. R. **Mensuração florestal 3: relações quantitativas em volume, peso e a relação hipsométrica**. Lavras: ESAL-FAEPE, 1993, 292p.

SETTE JÚNIOR, C. R.; TOMAZELLO FILHO, M.; DIAS, C. T. S.; LACLAU, J. P. Crescimento em diâmetro do tronco das árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill. Ex. Maiden e relação com as variáveis climáticas e fertilização mineral. **Revista árvore**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 979-990, nov./dez. 2010.

SILVA, L. F.; MACEDO, A. H. Um estudo exploratório sobre o crédito de carbono como forma de investimento. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v.8, n.8, p.1651-1669, 2012.

SILVEIRA, E. R.; REINER, D. A.; SMANIOTTO, J. R. Efeito do espaçamento de plantio na produção de madeira e serapilheira de *Eucalyptus dunnii* na região sudoeste do Paraná. **Revista Técnico Científica**, Paraná, v. 1, n. 2, p. 1-9, set. 2014.

SILVEIRA, L. V. A. R.; GAVA, J. L. Nutrição e adubação fosfatada em *Eucalyptus*. In: YAMADA, T.; STIPP- ABDALLA, S.R. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafós, Piracicaba, São Paulo, Brasil, p. 107-108, 2004.

SILVEIRA, R. L. V. A.; HIGASHI, E. N.; SGARBI, F.; MUNIZ, M. R. A. Seja doutor do seu eucalipto. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.93, p.1-31, 2001.

SIMÕES, J. W.; COTO, N. A. S. Efeito do número de brotos e da fertilização mineral sobre o crescimento da brotação de *Eucalyptus saligna* Smith, em segunda rotação. **Série Técnica - IPEF**, v. 31, 1985.

SOARES, C. P. B.; MARTINS, F. B.; LEITE JÚNIOR, H. U.; SILVA, G. F.; FIGUEIREDO, L. T. M. Equações hipsométricas, volumétricas e de taper para onze espécies nativas. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.35, n5, p.1039-1051, 2011.

SOUSA, G. T. O.; DE AZEVEDO, G. B.; BARRETO, P. A. B.; JÚNIOR, V. C. Relações hipsométricas para *Eucalyptus urophylla* conduzidos sob regime de alto fuste e talhadia no Sudoeste da Bahia. **Scientia Plena**, v. 9, n. 4, 2013.

TOMÉ, M.; RIBEIRO, F.; FAIA, S. Relação Hipsométrica geral para *Eucalyptus globulus* Labill. em Portugal. **Silva Lusitana**, v.15, n.1, p. 41-55, 2007.

THOMAS, C.; ANDRADE, C. M.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 3, p. 319-327, 2006.

VENTURIN, N.; JÚNIOR, E.C.; MACEDO, R. L. G.; VENTURIN, R. P. Histórico. In: VALE, A. B.; MACHADO, C. C.; PIRES, J. M. M.; VILAR, M. B.; COSTA, C. B.; NACIF, A. P. **Eucaliptocultura no Brasil: Silvicultura, manejo e ambiência**. Viçosa, MG: SIF, 2013. 551p.

VIDAL, A. C. F.; HORA, A. B. Perspectivas do setor de biomassa de madeira para a geração de energia. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, v. 33, n. 1, p. 261-314, 2011.

VIERA, I. S. **Estudo de caracteres silviculturais e de produção de óleo essencial de progênies de *Corymbia citriodora* (Hook) KD Hill & LAS Johnson procedente de Anhembi SP-Brasil, Ex. Atherton QLD-Austrália.** 100 f. 2004. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais). Piracicaba: SP, Universidade de São Paulo, SP.

VIERA, M.; BONACINA, D. M.; SCHUMACHER, M. V.; CALIL, F. N.; CALDEIRA, M. V. W.; WATZLAWICK, L. F. Biomassa e nutrientes em povoamento de *Eucalyptus urograndis* na Serra do Sudeste-RS. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, suplemento 1, p. 2481-2490, 2012.

VITAL, B. R.; CARNEIRO, A. C. O.; PEREIRA, B. L. C. **Qualidade da madeira para fins energéticos.** In: Bioenergia & Biorrefinaria –Cana-de-Açúcar & Espécies Florestais. SANTOS, F.; COLLODETTE, J.; QUEIROZ, J. H. (Ed.). Viçosa: Os editores, 2013. p. 321-354.

WITSCHORECK, R.; SCHUMACHER, M. V. Teor e alocação de nutrientes em plantio de *Platanus x acerifolia* (Aiton) Willd. em Dom Feliciano – RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 4, p. 667-678, dez. 2013.

CAPÍTULO 2 – EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES EM CLONES DE EUCALIPTO EM ESPAÇAMENTOS ADENSADOS

RESUMO – A baixa fertilidade dos solos brasileiros, aliado ao uso da biomassa para fins energéticos em plantios de curta rotação, podem levar à maior remoção de nutrientes do solo. Assim, o conhecimento da dinâmica nutricional destes povoamentos pode permitir o manejo nutricional adequado e a manutenção da produção florestal sustentada nesses sítios. O objetivo deste estudo foi avaliar a exportação de nutrientes da biomassa aérea de clones de eucalipto aos 33 meses de idade submetidos a dois espaçamentos adensados de plantio. O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em arranjo fatorial 3 x 2, sendo três clones (AEC1528, I144 e GG100) e dois espaçamentos de plantio (3,0 m x 0,5 m e 3,0 m x 1,0 m), com três repetições. Foram amostradas cinco árvores de cada parcela, posteriormente as árvores foram derrubadas e seccionadas. Em campo, foram retiradas amostras da copa (folhas, galhos verdes e secos) e discos com casca. Estas amostras foram secas em estufa elétrica com circulação e renovação forçada de ar e moídas. Com as amostras moídas do tronco e da copa foi realizada uma amostra composta da biomassa aérea da árvore, a qual foi utilizada para as análises dos teores nutricionais de N, P, K, Ca, Mg e S. Adicionalmente, foi calculado o conteúdo de nutrientes e a eficiência de utilização de nutrientes. Posteriormente, foi realizada a análise de variância, seguida do teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Para a biomassa aérea da árvore, o maior teor de P foi encontrado para os clones AEC1528 e I144, o maior conteúdo e exportação de macronutrientes foram obtidos para os clones I144 e GG100. O espaçamento mais reduzido levou a maiores quantidades de remoção dos nutrientes do sítio. A maior eficiência de utilização de P ocorreu para os clones I144 e GG100.

Palavras-chave: *Eucalyptus*, Eficiência nutricional, Nutrientes.

EXPORTATION OF NUTRIENTS IN EUCALYPTS CLONES IN ADENSED SPACINGS

SUMMARY - The low fertility of Brazilian soils, together with the use of biomass for energy purposes in plantations of short rotation, can lead to greater soil nutrient removal. Thus, knowledge of the nutritional dynamics of these stands can allow the adequate nutritional management and the maintenance of the sustainable forest production in these sites. The objective of this study was to evaluate the export of nutrients from the aerial biomass of eucalypts clones at 33 months of age submitted to two densified planted spacing. The experiment was installed in a completely randomized design (DIC), in a 3 x 2 factorial arrangement, three clones (AEC1528, I144 and GG100) and two planting spacings (3,0 m x 0,5 m and 3,0 m x 1,0 m), with three replications. Five trees were sampled from each parcel, after, trees were felled and sectioned. In the field, samples were taken from the tree top (leaves, green and dry branches) and discs with bark. These samples were dried in an electric drying oven with circulation and forced air renewal and grounded. A composite sample of the aerial biomass of the tree was used to analyze the nutritional contents of N, P, K, Ca, Mg and S. In addition, the contents of nutrients and nutrient utilization efficiency. Was calculated Subsequently, the analysis of variance was performed, followed by the Tukey test at 5% probability of error. For the aerial biomass of the tree, the highest P content was found for clones AEC1528 and I144, the highest content and export of macronutrients were obtained for clones I144 and GG100. The smaller spacing led to greater amounts of removal of the nutrients from the site. The higher efficiency of P use occurred for clones I144 and GG100.

Keywords: *Eucalyptus*, Nutritional efficiency, Nutrients.

1 INTRODUÇÃO

O gênero *Eucalyptus* é o mais plantado no Brasil, com alta produtividade média, em torno de $36 \text{ m}^3/\text{ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ (IBÁ, 2016). Estes plantios ocupam extensas áreas onde, normalmente, os solos são de baixa fertilidade natural (BELLOTE; SILVA, 2008), podendo levar a uma depleção na qualidade do sítio, pois a rápida taxa de crescimento das florestas plantadas impõe uma elevada demanda sobre os recursos do solo, em especial água e nutrientes (BELLOTE; DEDECK; SILVA, 2008).

Entre os fatores de produção, os aspectos ligados à nutrição são os que apresentam o maior potencial de manejo, seja pela capacidade de limitar a produtividade, seja pela ampla gama de insumos industrializados e resíduos, além de inúmeras práticas de manejo que visam à manutenção da capacidade produtiva dos sítios florestais. Normalmente, a colheita é a principal via de exportação de nutrientes dos sítios florestais, sobretudo se realizada em rotações curtas e envolvendo outros componentes da biomassa, além da madeira (WITSCHORECK; SCHUMACHER, 2015).

A produção de biomassa para fins energéticos em plantios de curta rotação, aliado a densidades de populações mais reduzidas, pode levar em consideração a colheita total da árvore, influenciando na remoção de nutrientes do sítio florestal, visto que, segundo Hernández et al. (2009), quando a madeira é exportada sem descascamento no local, a exportação de nutrientes aumentaria para 41%, 55%, 46%, 68% e 66% da extração total de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente. O uso de espaçamentos mais adensados para produção de biomassa energética pode influenciar a exportação de nutrientes do sítio, pois, segundo Hernández et al. (2009), a densidade de plantio e a fertilidade do solo possuem relação direta com a produção de biomassa e as concentrações dos nutrientes nos diversos componentes das árvores de eucalipto. Aumentando a produção de biomassa nos espaçamentos mais densos e, conseqüentemente, ocorre o acréscimo da remoção de nutrientes (VIERA, 2012).

Quando a densidade populacional de plantas é alterada, espera-se que outros fatores, além da limitação espacial, interfiram na absorção de nutrientes, por meio de modificações nas relações hídricas das plantas e, ou, modificações na sua eficiência

de absorção. Densidades populacionais que levem à exaustão mais rápida de água do solo deverão afetar a absorção de nutrientes de menor mobilidade no solo; já nas situações em que as plantas apresentem menores taxas de transpiração, esperam-se maiores restrições quanto ao suprimento de nutrientes de maior mobilidade no solo (LEITE et al., 1998).

Para o maior conhecimento do funcionamento de um sistema florestal, são necessários estudos de quantificação da biomassa e dos nutrientes, sendo de fundamental importância o conhecimento da dinâmica dos nutrientes nos diversos compartimentos do ecossistema (CALDEIRA et al., 2008), bem como a exportação de nutrientes (VIERA et al., 2015). Assim podem-se encontrar indicadores de possíveis impactos que algumas técnicas silviculturais podem causar (CALDEIRA et al., 2008).

O conhecimento da dinâmica de nutrientes em povoamentos com diferentes densidades de plantio permite estabelecer estratégias de manejo nutricional para obter uma produção florestal sustentada (LEITE et al., 1998). Desse modo, o conhecimento da distribuição da biomassa e do estoque de nutrientes nos diferentes componentes dos povoamentos florestais pode subsidiar inúmeras práticas que visam à manutenção da produtividade dos sítios florestais (SCHUMACHER et al., 2013).

Assim, esse estudo teve o objetivo de avaliar a exportação de nutrientes da biomassa aérea de clones de eucalipto aos 33 meses de idade submetidos a dois espaçamentos adensados de plantio.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido e instalado na Universidade Federal de Goiás, Regional Jataí, no município de Jataí-GO, sob as coordenadas 17° 56' 10" S e 51° 43' 40" O, com altitude de 662 m. Segundo a classificação climática de Köppen o clima da região é classificado como Aw, com chuva no verão e seca no inverno; a temperatura média histórica foi de 23,7 °C e a precipitação média foi de 1.645 mm (INMET, 2013).

O solo da área é classificado como Plintossolo (EMBRAPA, 2013), o qual teve sua fertilidade avaliada no início do experimento (Tabela 1), sendo realizada análise de solo na camada de 0-20 cm de profundidade na área experimental, onde coletaram-se 10 amostras simples para formar uma amostra composta. Em novembro de 2012 foi realizado o plantio manual na área, com tratamento do sistema radicular das mudas em calda cupinicida. Posteriormente, foi realizada a recomendação da adubação conforme Andrade (2004), sendo o preparo da área efetuado com escarificação mecânica a 25 cm de profundidade e posterior adubação de plantio, com a aplicação da formulação NPK 4-14-8 (com 12% de Ca e 10% S), na quantidade de 150 gramas por cova. Na adubação de cobertura, foram aplicados N, K₂O e B, nas dosagens de 60, 40 e 3 kg ha⁻¹, respectivamente.

Tabela 1. Atributos químicos do solo, para a camada de 0-20 cm de profundidade, sob plantios de eucalipto em Plintossolo, em Jataí-GO.

Ph	Ca	Mg	Al	H+Al	K	P	B	Cu	Zn	S	Na
CaCl ₂	cmol _c dm ⁻³				mg dm ⁻³						
4,7	1,36	0,92	0,18	6,3	74	4,2	0,28	9,5	2,5	21,1	3,8
Argila	Silte	Areia	V	M	CTC						
g dm ⁻³			%		cmol _c dm ⁻³						
515	75	410	31,0	6,8	8,0						

O experimento foi implantado em delineamento inteiramente casualizado (DIC) em arranjo fatorial, com três clones de eucalipto AEC1528 (*E. grandis* x *E. urophylla*), I144 (*E. urophylla* x *E. grandis*) e GG100 (híbrido espontâneo de *E. urophylla*), em dois espaçamentos de plantio (3,0 m x 0,5 m e 3,0 m x 1,0 m), com três repetições, totalizando 18 parcelas. Cada parcela experimental constava de 50 plantas, utilizando-se bordadura simples para mensuração do experimento.

A idade de corte das árvores foi determinada aos 33 meses de idade, com base no ponto ótimo de colheita, determinado nos inventários realizados periodicamente. Nos censos da área experimental eram determinados o diâmetro a 1,30 m de altura do solo (DAP) e a altura total (HT). Os DAP's foram agrupados em cinco classes diamétricas, sendo amostrada uma árvore por classe de diâmetro conforme o método de Sturges (FINGER, 1992) por parcela, totalizando a derrubada de 90 árvores. Estas foram abatidas a 10 cm do solo e os compartimentos foram separados em tronco (madeira e casca) e copa (galhos verdes, secos e folhas).

Determinou-se a massa úmida de copa de cada árvore utilizando-se uma balança de carga. Em campo foram retiradas amostras compostas da copa de cada árvore, sendo estas pesadas em balança analítica de precisão de 0,01 g. As amostras foram acondicionadas em estufa de circulação forçada de ar em temperatura a 70 ± 5 °C para pesagem após se obter massa seca constante. A biomassa de copa foi determinada pela equação de SOARES et al. (2010).

$$MS(Total) = \frac{[MU(c) \times MS(a)]}{MU(a)}$$

Onde:

MS (Total) = biomassa seca, em kg;

MU (c) = biomassa úmida dos componentes, em kg; e

MU (a) = biomassa úmida da amostra levada ao laboratório, em kg; e

MS (a) = biomassa seca da amostra, em kg.

A biomassa do tronco até 3 cm de diâmetro com casca foi mensurada com o auxílio de uma balança de carga (mecânica). Com as toras seccionadas no campo foram retirados discos de madeira com casca de 2-5 cm de espessura, a 50% da altura total das árvores. Após a coleta de campo, os discos foram colocados em estufa elétrica com circulação e renovação forçada de ar com temperatura de 70 ± 5 °C até apresentar massa constante, para assim determinar massa seca dos discos. Posteriormente, os compartimentos tronco e copa foram moídos com auxílio de um moinho de facas tipo Willey e realizado uma amostra composta da biomassa aérea com base nos compartimentos que representavam a porcentagem da copa e do tronco das cinco árvores de cada classe diamétrica, para cada parcela, totalizando uma amostra composta por parcela. As amostras foram utilizadas para a análise nutricional dos macronutrientes da biomassa aérea.

As análises dos teores de nutrientes nos tecidos vegetais, nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) foram realizadas pelos métodos descritos em Tedesco et al. (1995) e Miyazawa et al. (1999). O conteúdo de nutrientes foi determinado multiplicando-se os teores de nutrientes de cada árvore pela massa seca total (biomassa do tronco e da copa), por unidade de área. Os dados de matéria seca total foram obtidos em Martins (2016).

Também foi analisada a eficiência de utilização dos nutrientes na biomassa aérea com base na estimativa do coeficiente de utilização biológico (CUB) empregado por Barros et al. (1986), obtido por:

$$\text{CUB} = \frac{\text{Matéria seca total } \left(\frac{\text{kg}}{\text{ha}}\right)}{\text{Conteúdo do nutriente } \left(\frac{\text{kg}}{\text{ha}}\right)}$$

Foi verificada a homogeneidade da variância pelo teste de Bartlett, e a normalidade dos erros pelo teste de Shapiro-Wilk. Após esta etapa procedeu-se a análise de variância (ANOVA) com uso do teste F ao nível de 5% de significância, na comprovação de diferenças entre os tratamentos foi realizado o teste de Tukey ao nível de 5% de significância com o auxílio do programa estatístico ASSISTAT® (SILVA; AZEVEDO, 2016).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação significativa entre os fatores clones e os espaçamentos para os teores, conteúdo e eficiência de utilização dos macronutrientes da biomassa aérea. Os clones apresentaram diferenças significativas quanto ao teor de nutrientes (g kg^{-1}) somente para o P, o maior teor foi observado para os clones AEC1528 e I144 (Tabela 2). Este maior teor de P encontrado pode indicar, conforme relatado por Caldeira et al. (2015), melhor adaptação ao local de plantio, absorvendo e translocando mais eficientemente os nutrientes disponíveis no solo, pois as espécies podem se comportar de forma diferente de acordo com o solo e as condições climáticas do local de plantio.

O S destacou-se por apresentar os menores teores entre os demais nutrientes. Já os maiores teores foram encontrados para N, K e Ca, semelhante ao observado por Gatto et al. (2014) para plantios de *E. urophylla* x *E. grandis* em Brasília aos 60 meses de idade em espaçamento 3 m x 2m.

Os teores de macronutrientes encontrados neste estudo estão inferiores aos teores médios ponderados encontrados para o gênero *Eucalyptus* spp. (VIERA et al., 2012; VIERA et al., 2013a; VIERA et al., 2013b; VERÃO et al., 2016).

Tabela 2. Teor de macronutrientes para os três clones de eucalipto, e para os espaçamentos de plantio, em Jataí, GO, 2017.

Clones	Tronco	Copa	N	P	K	Ca	Mg	S
	%		g kg ⁻¹					
AEC1528	88,25 a	11,75 a	5,37 a	0,49 a	2,98 a	2,50 a	0,66 a	0,22 a
I144	89,04 a	10,96 a	7,47 a	0,45ab	3,03 a	2,32 a	0,74 a	0,24 a
GG100	89,04 a	10,96 a	6,72 a	0,35 b	3,16 a	2,14 a	0,58 a	0,24 a
Espaçamentos	Tronco	Copa	N	P	K	Ca	Mg	S
	%		g kg ⁻¹					
3,0 m x 0,5 m	89,30 a	10,70 a	6,16 a	0,45 a	3,13 a	2,35 a	0,66 a	0,24 a
3,0 m x 1,0 m	88,24 a	11,76 a	6,88 a	0,42 a	2,98 a	2,30 a	0,66 a	0,23 a
CV (%)	1,70	13,43	28,19	16,78	9,94	21,47	16,82	20,85

As médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Esse menor teor está relacionado ao componente tronco ter composto 88,8% da biomassa média aérea, estando a maioria dos teores dos nutrientes nos órgãos fotossinteticamente ativos, as folhas (BRANÃS et al., 2000; SCHUMACHER et al., 2008; LEITE et al., 2011; GATTO et al., 2014; VERÃO et al., 2016), as quais representaram, juntamente com os galhos, apenas 11,2% da biomassa aérea. A magnitude do teor dos elementos na biomassa aérea total apresentou a seguinte ordem decrescente de acúmulo: N > K > Ca > Mg > P > S, sendo esta sequência observada para os clones bem como para os espaçamentos de plantio.

Os teores de macronutrientes não foram influenciados pelos espaçamentos de plantio (Tabela 2). Estes resultados corroboram com Leite et al. (2011) em que as diferentes densidades populacionais de 2,0 m² planta⁻¹ a 20 m² planta⁻¹ não influenciaram o teor de macronutrientes. Ainda segundo estes autores, embora não se tenha uma diferença no teor de nutrientes entre os espaçamentos de plantio, o aumento da densidade populacional, no entanto, pode contribuir para maior exaustão de nutrientes devido à maior quantidade de madeira produzida e exportada por unidade de área plantada.

Resultados semelhantes para teores de N, P e Mg foram encontrados por Leite et al. (1998) estudando a influência da densidade populacional de 500 a 5000 plantas ha⁻¹. Segundo estes autores, a semelhança do teor desses nutrientes entre os espaçamentos pode ser decorrente do efeito da concentração nutricional semelhante nas plantas com maiores densidades populacionais, o que pode ter

ocorrido para este estudo. Variações no teor de nutrientes têm sido reportadas em função da idade (LEITE et al., 2011) e da época do ano (ASSIS et al., 2006).

Do total de biomassa média acumulada na parte aérea entre os clones e os espaçamentos, o tronco representou cerca de 88,8% e a copa 11,2%, valores estes de biomassa aérea do tronco superiores ao observado por Muller et al. (2005) ao avaliarem o clone de um híbrido de *E. grandis* W. Hill ex Maiden x *E. camaldulensis* Dehnh. nos espaçamentos de 3,0 m x 0,5 m a 3,0 m x 3,0 m, aos 24 meses de idade, onde o compartimento tronco representou cerca de 70% da biomassa aérea. Dessa forma, conforme relatado por Schumacher et al. (2008) a colheita da madeira, implicará na exportação de uma significativa quantidade de biomassa e, conseqüentemente, dos nutrientes armazenados.

Os clones e os espaçamentos de plantio apresentaram diferenças significativas quanto ao conteúdo de nutrientes ($p < 0,05$) (Tabela 3). Os clones não diferiram quanto ao conteúdo de P, Ca e S. O maior conteúdo de N, Mg e K foram observados para os clones I144 e GG100. A produção de biomassa apresentou relação com o conteúdo de nutrientes, em que os clones mais produtivos em biomassa, I144 e GG100, apresentaram o maior conteúdo de nutrientes (Tabela 3).

Tabela 3. Produção de biomassa e conteúdo de nutrientes para três clones de eucalipto, em diferentes espaçamentos de pantio, Jataí, GO, 2017.

Clones	Biomassa*	N	P	K	Ca	Mg	S
	Total Mg ha ⁻¹						
AEC1528	117,1 b	548,2 b	51,4 a	310,9 b	263,7 a	69,4 b	23,7 a
I144	140,3 a	943,7 a	56,3 a	379,9 ab	293,2 a	92,9 a	29,9 a
GG100	140,3 a	826,1ab	43,4 a	393,6 a	259,6 a	70,8 ab	28,9 a

Espaçamentos	Biomassa*	N	P	K	Ca	Mg	S
	Total Mg ha ⁻¹						
3,0 m x 0,5 m	150,9 a	843,5 a	59,3 a	422,1 a	314,9 a	89,2 a	31,8 a
3,0 m x 1,0 m	114,2 b	701,8 a	41,4 b	300,9 b	229,4 b	66,3 b	23,1 b
CV (%)	nd	29,13	17,91	13,20	22,63	18,76	19,17

As médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *Valores de biomassa obtidos em Martins (2016).

Diferenças no conteúdo de nutrientes também foram observadas por Schumacher e Poggiani (1999) em árvores de *E. camaldulensis* Dehnh, *E. grandis*

Hill ex Maiden e *E. torelliana* F. Muell. em que o *E. grandis*, além de apresentar a maior produção de biomassa, foi a espécie que extraiu e acumulou as maiores quantidades dos nutrientes, com exceção do cálcio.

Segundo Wadt et al. (1999), diferenças nutricionais entre espécies sobre as mesmas condições climáticas e de fertilidade do solo são atribuídas às particularidades nutricionais de cada material genético, as quais podem estar relacionadas a diferentes capacidades de absorção de nutrientes.

O conteúdo de nutrientes da biomassa aérea para os clones deste estudo foram superiores ao encontrados por diversos autores para o gênero *Eucalyptus* para N, P, K e Mg (BRANÃS et al., 2000; SCHUMACHER; CALDEIRA, 2001; VIERA et al., 2012; GATTO et al., 2014) e inferiores aos de Ca (SCHUMACHER; CALDEIRA, 2001) entre 18 e 72 meses de idade em espaçamentos convencionais. Esse maior conteúdo de nutrientes pode estar relacionado a maior produção de biomassa média deste povoamento, 132,57 Mg ha⁻¹, quando comparada a estes autores, de 18,5 Mg ha⁻¹ a 83, 28 Mg ha⁻¹, visto a maior densidade populacional deste estudo, resultando em uma maior absorção e acúmulo de nutrientes na biomassa. O conteúdo de nutrientes deste estudo se assemelha ao conteúdo de nutrientes médio para *E. saligna* Sm. aos 7 anos de idade para N (528,88 kg ha⁻¹), P (48,06 kg ha⁻¹) e K (343,23 kg ha⁻¹) (WITSCHORECK; SCHUMACHER, 2015).

Os espaçamentos influenciaram a exportação de nutrientes do sítio, onde o espaçamento de plantio mais adensado, 3,0 m x 0,5 m, levou a maior produção de biomassa, aos maiores conteúdos de nutrientes na biomassa aérea das árvores e, conseqüentemente, a maior remoção de nutrientes do sítio. Resultados semelhantes de maiores quantidades de nutrientes nos espaçamentos mais adensados foram encontrados por Muller et al. (2005), para o híbrido de *E. grandis* W. Hill ex Maiden x *E. camaldulensis* Dehnh. aos 24 meses de idade, em que os espaçamentos mais adensados de plantio (3,0 m x 0,5 m e 3,0 m x 1,0 m) apresentaram o maior conteúdo de macronutrientes para N, P, K, Ca e Mg em relação aos espaçamentos menos adensados (3,0 m x 1,5 m, 3,0 m x 2,0 m e 3,0 m x 3,0 m).

Segundo Leite et al. (1998) considerando as florestas comerciais, diferentes densidades populacionais de árvores também podem levar a diferentes quantidades de nutrientes removidos do solo, de forma que o conhecimento da dinâmica de nutrientes em povoamentos com diferentes densidades populacionais permite

estabelecer estratégias de manejo nutricional para obter uma produção florestal sustentada.

O conteúdo de nutrientes seguiu a seguinte ordem decrescente para os macronutrientes na biomassa área, para os clones e para os espaçamentos de plantio: N > K > Ca > Mg > P > S (Tabela 3). Esta ordem difere da observada em estudos com povoamentos de eucalipto, em que, de modo geral, a quantidade total de S é maior do que a de P (FREITAS et al., 2004; GATTO et al., 2014; WITSCHORECK et al., 2015). O acúmulo de nutrientes na biomassa arbórea varia de elemento para elemento, em função das características nutricionais de cada espécie, dos diferentes níveis de fertilidade do solo e da idade da floresta (SCHUMACHER; POGGIANI, 1993).

A eficiência de utilização de nutriente medida pelo CUB (coeficiente de utilização biológica) foi significativa entre os clones apenas para o P. O clone GG100 e I44 apresentaram maior eficiência de utilização de fósforo, apresentando maior produção de biomassa e menores teores de fósforo na biomassa aérea da árvore inteira (Tabela 2), podendo-se inferir que o clone GG100 apresenta uma menor remoção de fósforo do solo, mas com uma maior eficiência de utilização.

Tabela 4. Eficiência de utilização de nutrientes para os clones de eucalipto, e para os espaçamentos adensados de plantio, em Jataí - GO, 2016.

Clones	N	P	K	Ca	Mg	S
AEC1528	204,2 a	2072 b	338,2 a	412,3 a	1528,3 a	4720,1a
I144	145,5 a	2282 ab	332,1 a	441,1 a	1373,1 a	4254,2 a
GG100	151,3 a	2914 a	319,6 a	488,6 a	1785,1 a	4386,2 a
Espaçamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
3,0 m x 0,5 m	173,9 a	2355,2 a	320,9 a	439,9 a	1556,2 a	4301,8 a
3,0 m x 1,0 m	160,1 a	2490,3 a	339,0 a	454,8 a	1568,1 a	4605,2 a
CV (%)	29,33	18,00	9,29	19,58	16,58	19,53

As médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Não houve relação entre a produção de biomassa e a eficiência de utilização para N, K, Ca, Mg e S, já que os clones mais produtivos não apresentaram maior eficiência de utilização destes nutrientes. Santana et al. (2002), estudando procedências de *E. grandis* e *E. saligna*, também constataram que as maiores

produtividades de biomassa de tronco não foram acompanhadas de maiores valores de eficiência de utilização de nutrientes.

Segundo Camargo et al. (2004), dificilmente é possível selecionar um material genético que apresente alta eficiência de utilização de todos os nutrientes. O que pode ser feito é utilizar materiais genéticos que possuam eficiência compatível com a fertilidade do solo. Mas, se materiais altamente eficientes na absorção de um nutriente forem plantados em solos pobres e que não receberam adubação, ocorrerá degradação mais rápida do solo.

Para as espécies *E. grandis* e *E. saligna* aos 78 meses de idade Santana et al. (2002) também constataram diferenças na eficiência entre as espécies para o fósforo. Faria et al. (2008), avaliando a eficiência de utilização dos nutrientes observou maior eficiência de utilização de nutrientes para os híbridos provenientes de *E. urophylla*, quando em polinização natural, em relação aos demais híbridos. A maior eficiência de utilização de P foi verificada para o clone I225.

Os espaçamentos não apresentaram diferenças significativas na eficiência de utilização dos macronutrientes para a idade de 33 meses, e, apesar do espaçamento mais adensado, 3,0 m x 0,5 m, acumular maior quantidade de nutrientes na biomassa, não ocorreu diferença na eficiência de utilização para todos os nutrientes. Segundo Santana et al. (2002), as variações na eficiência de utilização de nutriente acontecem mais dentro de uma espécie de planta em função das diferenças genotípicas que podem ocorrer e da interação genótipo-ambiente.

Os valores médios da eficiência de utilização de nutriente para os macronutrientes apresentaram a seguinte sequência: $S > P > Mg > Ca > K > N$. A eficiência de utilização de nutrientes foi maior em relação aos nutrientes menos acumulados na biomassa aérea apresentados na Tabela 2, sendo a menor eficiência de utilização encontrada para o nitrogênio. Segundo Caldeira et al. (2002), o nitrogênio possui eficiência de uso relativamente baixa, quando comparado aos outros nutrientes, devido aos altos teores nas folhas e pela retranslocação interna, voltando ao solo por meio da queda de serapilheira, sendo integrado ao ciclo biogeoquímico.

A sequência de utilização de nutrientes observada neste estudo: $S > P > Mg > Ca > K > N$ diferiu da encontrada por diversos autores (SANTANA et al., 2002; FARIA et al., 2008) os quais encontraram a seguinte ordem: $P > Mg > K > N > Ca$, para procedências de *E. grandis* e *E. saligna* aos 78 meses de idade, e para híbridos

interespecíficos do gênero *Eucalyptus* spp. aos 57 meses de idade, e *Eucalyptus* spp. aos 4,75 e 8 anos de idade. A variação na eficiência de utilização de nutrientes pode ter ocorrido por características intrínsecas do material genético, como a não obtenção do equilíbrio nutricional ótimo ou crítico entre solo, planta e entre os macronutrientes (SANTANA et al., 2002).

4 CONCLUSÕES

O maior teor de P na biomassa aérea foi encontrado para o clone AEC1528 e I144.

Os clones mais produtivos em biomassa I144 e GG100 apresentaram o maior conteúdo de nutrientes e maior exportação de nutrientes do sítio pela colheita da biomassa aérea. O espaçamento mais adensado 3,0 m x 0,5 m, levará a maior exportação de P, K, Ca, Mg e S durante a colheita.

Os clones GG100 e I44 apresentaram maior eficiência de utilização de P, apresentando os menores teores de P na biomassa aérea da árvore inteira.

5 REFERÊNCIAS

ANDRADE, L. R. M. Corretivos e fertilizantes para culturas perenes e semiperenes. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2ª ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 317 – 366. 2004.

ASSIS, R. L.; FERREIRA, M. M.; CARGNELUTTI FILHO, A. Estado nutricional de *Eucalyptus urophylla* ST Blake sob diferentes espaçamentos na região de cerrados de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 36, n. 3, p. 151-157, set./dez. 2006.

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

BELLOTE, A. F. J.; DEDECEK, R. A.; SILVA, H. D. Nutrientes minerais, biomassa e deposição de serapilheira em plantio de *Eucalyptus* com diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 56, p. 31, jan./jun. 2008.

BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H.D. Nutrição, adubação e calagem para *Eucalyptus*. In: FERREIRA, FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. **Formação de povoamentos florestais**. Colombo: Embrapa Florestas, p. 55, 2008.

BRAÑAS, J.; MERINO, A.; GONZÁLEZ-RÍO, F. Contenido y distribución de nutrientes en plantaciones de *Eucalyptus globulus* del noroeste de la Península Ibérica. **Forest Systems**, v. 9, n. 2, p. 317-335, 2000.

CALDEIRA, D. R. M.; MIELKE, K. C.; SILVA, R. P.; MARTINS, F.; COSTA, W. J.; ANGELO, A. C. Initial assessment and nutritional status of hybrid *Eucalyptus* spp. in the municipality of Colorado Do Oeste, Rondônia State-Brazil. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 35, p. 3548-3553, ag. 2015.

CALDEIRA, M. V. W.; VITORINO, M. D.; SCHAADT, S. S.; MORAES, E.; BALBINOT, R. Quantificação de serapilheira e de nutrientes em uma Floresta Ombrófila Densa. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 1, p. 53-68, jan./mar. 2008.

CALDEIRA, M. V. W.; RONDON NETO, R. M.; SCHUMACHER, M. V. Avaliação da eficiência nutricional de três procedências australianas de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.26, n.5, p.615-620, 2002.

CAMARGO, M. L. P.; MORAES, C. B.; MORI, E. S.; GUERRINI, I. A.; MELLO, E. J.; ODA, S. Considerações sobre eficiência nutricional em *Eucalyptus*. **Científica**, Jaboticabal, v. 32, n. 2, p. 191-196, 2004.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA, 2013, 353 p.

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

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992. 269 p.

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

GATTO, A.; BUSSINGER, A. P.; RIBEIRO, F. C.; AZEVEDO, G. B.; BUENO, M. C.; MONTEIRO, M. M.; SOUZA, P. F. Ciclagem e balanço de nutrientes no sistema solo-planta em um plantio de *Eucalyptus* sp., no distrito federal. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.38, p.879-887, 2014.

HERNÁNDEZ, J.; DEL PINO, A.; SALVO, L.; ARRARTE, G. Nutrient export and harvest residue decomposition patterns of a *Eucalyptus dunnii* Maiden plantation in temperate climate of Uruguay. **Forest Ecology and Management**, v. 258, n. 2, p. 92-99, 2009.

IBÁ - Indústria Brasileira De Árvores. **Anuário estatístico IBÁ 2016**, ano base 2015. Brasília: IBÁ, 2016, 100 p. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2016_.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2017.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Estação 83464: Jataí/GO. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 9 dez. 2013.

LEITE, F. P.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; FABRES, A. S. Acúmulo e distribuição de nutrientes em *Eucalyptus grandis* sob diferentes densidades populacionais. **Revista brasileira de ciência do solo**, Viçosa, v. 22, n. 3, p. 419-426, 1998.

LEITE, F. P.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; VILLANI, E. M. A. Nutrient relations during an *Eucalyptus* cycle at different population densities. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 949-959, 2011.

MARTINS, W. R. **Produção de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em plantios adensados no sudoeste goiano**. 2016. 71 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Goiás, Jataí- Goiás.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; BLOCH, M. D. M. Análises químicas de tecido vegetal. In: SILVA, F. C. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: EMBRAPA Solos, 1999. p. 171-223. (Comunicação para Transferência de Tecnologia).

MÜLLER, M. D.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; BRITO, J. O. Avaliação de um clone de eucalipto estabelecido em diferentes densidades de plantio para produção de biomassa e energia. **Biomassa & Energia**, v. 2, n. 3, p. 177-186, 2005.

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

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e inventário florestal**. 3ª reimpressão. ed. Viçosa: UFV, p. 61 – 102, 2010.

SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R.; CALIL, F. N.; LOPES, V. G. Biomassa e nutrientes no corte raso de um povoamento de *Pinus taeda* L. de 27 anos de idade em Cambará do Sul – RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 321-332, abr./jun. 2013.

SCHUMACHER, M. V.; BRUN, E. J.; ILLANA, V. B.; DISSIUTA, S. I.; AGNE, T. L. Biomassa e nutrientes em um povoamento de *Hovenia dulcis* Thunb., plantado na Fepagro florestas, Santa Maria, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 1, p. 27-37, jan./mar. 2008.

SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus globulus* (Labillardière) sub-espécie *maidenii*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.11, n.1, p.45-53, 2001.

SCHUMACHER, M. V.; POGGIANI, F. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus torelliana* F. Muell, plantados em Anhembi, SP. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 3, n. 1, p. 21-34, 1999.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal Agricultural Research**; v. 11, n.39, p. 3733-3740. DOI: 10.5897/AJAR2016.11522; 2016.

TEDESCO, M. J.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solos, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRG, Departamento de Solos/Faculdade de Agronomia, 1995. 174 p. (Boletim Técnico; 5).

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

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; TRÜBY, P.; ARAÚJO, E. F. Implicações nutricionais com base em diferentes intensidades de colheita da biomassa de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 3, p. 432-439, mar. 2015.

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

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W.; WATZLAWICK, L. F. Teores de nutrientes em povoamentos monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii* em sistema agrossilvicultural. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 1, p. 67-76, jan./mar. 2013b.

VIERA, M.; BONACINA, D. M.; SCHUMACHER, M. V.; CALIL, F. N.; CALDEIRA, M. V. W.; WATZLAWICK, L. F. Biomassa e nutrientes em povoamento de *Eucalyptus urograndis* na Serra do Sudeste-RS. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. suplemento 1, p. 2481-2490, 2012.

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

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

WITSCHORECK, R. J.; SCHUMACHER, M. V. Alocação de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus saligna* sm. na região de Guaíba-Rio Grande do Sul. **Cerne**, Lavras, v. 21, n. 4, p. 625-632, out./dez. 2015.

CAPÍTULO 3 – QUALIDADE DA BIOMASSA AÉREA DE CLONES DE EUCALIPTO EM ESPAÇAMENTOS ADENSADOS PARA COMBUSTÃO

RESUMO – A biomassa florestal apresenta um grande potencial de uso para geração de energia e diminuição do uso dos combustíveis fósseis, sendo necessários estudos que demonstrem a produtividade das diferentes espécies/clones para fins energéticos. O objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade da biomassa aérea de clones de eucalipto submetidos a dois espaçamentos adensados de plantio para fins energéticos. O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em arranjo fatorial 3 x 2, sendo três clones (AEC1528, I144 e GG100), e dois espaçamentos de plantio (3,0 m x 0,5 m e 3,0 m x 1,0 m), com três repetições. Foram amostradas cinco árvores de cada parcela. Em campo, foram retiradas amostras da copa (folhas, galhos verdes e secos) e discos com casca. Estas amostras foram secas em estufa elétrica com circulação e renovação forçada de ar e moídas. As amostras compostas do tronco e da copa foram utilizadas para as análises energéticas da biomassa aérea da árvore. Na biomassa aérea, foi quantificado o poder calorífico superior e inferior, a análise química elementar, sendo estimados os teores de C, H, N, O e S, o teor de cinzas e o potencial energético da biomassa aérea. Adicionalmente, foi realizada a análise da densidade básica da madeira. Posteriormente foi realizado à análise de variância com o uso do teste de Tukey a 5% de significância. Foram observados desempenhos semelhantes entre os clones e os espaçamentos para as características energéticas da biomassa aérea para poder calorífico superior e inferior e para a análise química elementar, com poder calorífico superior e inferior de 4700 Kcal kg⁻¹ e 4352 Kcal kg⁻¹. Os clones mais produtivos, I144 e GG100, apresentaram os menores teores de cinzas e maior densidade básica da madeira.

Palavras-chave: *Eucalyptus*, Energia da biomassa, Poder calorífico, Espaçamentos de plantio.

QUALITY OF EUCALYPTUS CLONES AIR BIOMASS IN ADENSED COMBUSTION SPACES

SUMMARY - Forest biomass has a great potential for use in energy generation and reduction of the use of fossil fuels, and studies are needed to demonstrate the productivity of different species/clones for energy purposes. The objective of this study was to evaluate the aerial biomass quality of eucalyptus clones subjected to two densified planted spacing for energy purposes. The experiment was installed in a completely randomized design (DIC), in a 3 x 2 factorial arrangement, three clones (AEC1528, I144 and GG100), and two planting spacings (3,0 m x 0,5 m and 3,0 m x 1,0 m), with three replications. Five trees were sampled from each parcel, later trees were felled and sectioned. In the field, samples were taken from the tree top (leaves, green and dry branches) and (trunk discs with bark). These samples were dried in an electric drying oven with circulation and forced air renewal and grounded. The composite samples of the trunk and tree top were used for the energy analyzes of the aerial biomass of the tree. In the aerial biomass, the upper and power calorific value and the elemental chemical analysis were quantified. The values of C, H, N, O and S, ash content, and energy potential of aerial biomass were estimated. In addition, the basic wood density analysis was performed. Subsequently, the analysis of variance was performed using the Tukey test at 5% significance level. The similar performances between the clones and the spacings for the energy characteristics of the aerial biomass for upper and power calorific value and for the elemental chemical analysis, with upper and lower calorific value of 4700 Kcal kg⁻¹ and 4352 Kcal kg⁻¹ were observed. The most productive clones I144 and GG100 showed the lowest ash content and the highest wood density.

KEYWORDS: biomass energy, calorific power, *Eucalyptus*, planting spacings.

1 INTRODUÇÃO

O setor de florestas plantadas brasileiro ocupa posição de liderança na produtividade madeireira, contribuindo com 1,2% de toda a riqueza gerada no país e 6% do PIB industrial (IBÁ, 2016). Além dos fatores econômicos, o setor contribui de forma social, na geração de empregos, e ambiental, pois a biomassa oriunda das florestas plantadas contribui para a captura e armazenamento de CO₂ atmosférico na madeira e no solo florestal (GOLOS; KALISZEWSKI, 2015), para conservação da natureza, promoção da biodiversidade e recuperação de áreas degradadas (DRESCH et al., 2014).

Dentre as contribuições desse setor para a sociedade, se destaca a de fornecimento energético (DRESCH et al., 2014). A produção de energia a partir da biomassa vegetal é uma alternativa viável para a redução da dependência dos combustíveis fósseis. Neste contexto, o Brasil se destaca no cenário mundial com ampla produção de energia por fontes renováveis, com vasto uso da biomassa vegetal (CARBONARI et al., 2012; BRASIL, 2016). O uso da biomassa florestal para a produção de energia é uma tendência crescente devido às pressões originadas pelas mudanças climáticas, e juntamente com a crescente demanda por energia, torna-se indispensável o uso de fontes de energia renováveis, incluindo a biomassa proveniente de florestas (GOLOS; KALISZEWSKI, 2015).

Para suprir essa demanda por fontes de energia da biomassa florestal, tem-se aumentado o uso de florestas para fins energéticos. O uso de florestas energéticas é uma potencialidade para o Brasil devido principalmente ao aprimoramento de técnicas de implantação, de manejo e de exploração, além do país possuir uma das melhores produtividades volumétricas do mundo (VIDAL; HORA, 2011). Essas florestas energéticas, em plantios de curta rotação podem ser utilizadas na forma de cavacos, com o fracionamento da biomassa aérea total, aumentando a superfície de contato com o ambiente, resultando em uma melhor eficiência de secagem e no transporte da madeira.

Diversas pesquisas e estudos têm sido realizados para reduzir o período de corte e o espaçamento do plantio (VIDAL; HORA, 2011). O espaçamento de plantio é um dos principais fatores que afetam a formação das florestas, os tratamentos culturais, a colheita e os custos de produção (SIMÕES et al., 1976). O uso de plantios de

curta rotação com o aumento da densidade inicial de plantas e a diminuição do tempo de rotação florestal, tem levado ao aumento de produção volumétrica (REINER et al., 2011; LIMA et al., 2013; RIBEIRO et al., 2017) e de biomassa (CASTRO et al., 1998; CARON et al., 2015; SEREGHETTI et al., 2016; RIBEIRO et al., 2017) por área, devido a redução do espaçamento entre plantas. Entretanto, poucos estudos relacionam essa alta produtividade com as características energéticas da madeira para as espécies florestais (ELOY et al., 2014; ELOY et al., 2015; GARCIA et al., 2016), que os fatores que afetam o rendimento da biomassa são características importantes na determinação do valor energético (HYTÖNEN; NURMI, 2015).

Assim, há necessidade de se verificar a influência destes plantios de curta rotação nas características da madeira para usos energéticos. Além da produtividade, características como densidade básica, teores de carbono fixo, materiais voláteis e cinzas, composição elementar e poder calorífico estão entre os principais critérios de seleção da madeira para fins energéticos (SANTOS et al., 2012). Avaliar os efeitos que podem influenciar a qualidade da madeira é necessário para conhecer as variações sofridas pelas diferentes propriedades, tanto nas espécies como nos clones. Assim, é necessário que diferentes características sejam determinadas, que suas variações sejam conhecidas e que a sua relação com o produto desejado seja devidamente estabelecida (TRUGILHO et al., 2015).

O objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade da biomassa aérea de clones de eucalipto submetidos a dois espaçamentos adensados de plantio para fins energéticos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em um povoamento de três clones de eucalipto instalado na Fazenda Experimental da Universidade Federal de Goiás, Regional Jataí, no município de Jataí-GO, sob as coordenadas 17° 56' 10" S e 51° 43' 40" O, com altitude de 662 m. Segundo a classificação climática de Köppen o clima da região é classificado como Aw, com chuva no verão e seca no inverno, e a

temperatura média histórica foi de 23,7 °C e a precipitação média foi de 1.645 mm (INMET, 2013).

O solo da área é classificado como Plintossolo (EMBRAPA, 2013), o qual teve sua fertilidade avaliada no início do experimento (Tabela 1), sendo realizada análise de solo na camada de 0-20 cm de profundidade, na área experimental, coletaram-se 10 amostras simples para formar uma amostra composta. Em novembro de 2012 foi realizado o plantio manual na área, com tratamento do sistema radicular das mudas em calda cupinizada. Posteriormente, foi realizada a recomendação da adubação conforme Andrade (2004), sendo o preparo da área efetuado com escarificação mecânica a 25 cm de profundidade e posterior adubação de plantio, com a aplicação da formulação NPK 4-14-8 (com 12% de Ca e 10% S), na quantidade de 150 gramas por cova. Na adubação de cobertura, foram aplicados N, K₂O e B, nas dosagens de 60, 40 e 3 kg ha⁻¹, respectivamente.

Tabela 1. Atributos químicos do solo, para a camada de 0-20 cm de profundidade, sob plantios de eucalipto em Plintossolo, em Jataí-GO.

Ph	Ca	Mg	Al	H+Al	K	P	B	Cu	Zn	S	Na
CaCl ₂	cmol _c dm ⁻³				mg dm ⁻³						
4,7	1,36	0,92	0,18	6,3	74	4,2	0,28	9,5	2,5	21,1	3,8
Argila	Silte	Areia	V	M	CTC						
g dm ⁻³		%		cmol _c							
515	75	410	31,0	6,8	8,0						

O experimento foi implantado em delineamento inteiramente casualizado (DIC) em arranjo fatorial, com três clones de eucalipto AEC1528 (*E. grandis* x *E. urophylla*), I144 (*E. urophylla* x *E. grandis*) e GG100 (híbrido espontâneo de *E. urophylla*), em dois espaçamentos de plantio (3,0 m x 0,5 m e 3,0 m x 1,0 m), com três repetições, totalizando 18 parcelas. Cada parcela experimental constava de 50 plantas, utilizando-se bordadura simples para mensuração do experimento.

A idade de corte das árvores foi determinada aos 33 meses de idade, com base no ponto ótimo de colheita, e nos inventários realizados periodicamente. Sendo realizado o censo da área experimental, e determinado o diâmetro a 1,30 m de altura do solo (DAP) e a altura total (HT). Os diâmetros foram agrupados em cinco classes diamétricas, sendo amostrada uma árvore por classe de diâmetro conforme o método de Sturges (FINGER, 1992). Foram abatidas cinco árvores por parcela, totalizando a derrubada de 90 árvores, estas foram abatidas a 10 cm do solo e os

compartimentos foram separados em tronco (madeira e casca) e copa (galhos verdes, secos e folhas).

Determinou-se a massa úmida de copa de cada árvore até 3 cm de diâmetro, utilizando-se uma balança de carga. Em campo foram retiradas amostras compostas da copa de cada árvore, sendo estas pesadas em balança analítica de precisão de $\pm 0,01$ g. As amostras foram acondicionadas em estufa de circulação forçada de ar em temperatura a 70 ± 5 °C para pesagem após se obter massa seca constante. A biomassa de copa foi determinada pela equação de SOARES et al. (2010).

A biomassa do tronco foi mensurada com o auxílio de uma balança de carga (mecânica). Com as toras seccionadas no campo foram retirados discos de madeira com casca de 2-5 cm de espessura, a 50% da altura total das árvores. Após a coleta de campo, os discos foram colocados em estufa elétrica com circulação e renovação forçada de ar com temperatura de 70 ± 5 °C até apresentar massa constante, para assim determinar massa seca dos discos. Os valores de massa seca total foram obtidos de Martins (2016). Posteriormente, os compartimentos tronco e copa foram moídos com auxílio de um moinho de facas tipo Willey, e realizado uma amostra composta da biomassa aérea com base nos compartimentos que representavam a porcentagem da copa e do tronco das cinco árvores de cada classe diamétrica, para cada parcela, totalizando 1 amostra composta por parcela. Estas amostras foram acondicionadas e encaminhadas para o Laboratório de Ciência e Tecnologia da Madeira da Universidade Federal de Lavras (UFLA) para a determinação da análise química elementar e do poder calorífico superior (PCS).

Para a quantificação dos teores de cinzas, foi utilizado o método de calcinação "loss of ignition" conforme Davies (1974) adaptado por Silva et al. (1999). As amostras da biomassa aérea de aproximadamente 4,0 g foram previamente secas em estufa de circulação e renovação forçada de ar a 105 ± 5 °C, posteriormente foram pesadas para determinação da massa inicial, e levadas a mufla por 5 h a 500 °C. Após, as amostras foram pesadas para determinação da massa final, sendo os teores de cinza obtidos pela seguinte fórmula:

$$\text{Teor de cinzas (\%)} = \frac{M_i (g)}{M_f (g)} * 100$$

Em que:

M_i = massa da amostra inicial, em g.

Mf= massa final da amostra, em g.

Os teores de carbono (C) e hidrogênio (H) foram determinados em um analisador universal da marca Elementar (modelo Vario Micro Cube) em duplicata. Os teores de nitrogênio (N) e enxofre (S) foram obtidos por meio da análise química em g kg^{-1} e transformados em porcentagem. O teor de oxigênio foi obtido por diferença:

$$O = 100 - C - H - N - S$$

Em que:

O= teor de oxigênio (%); C = teor de carbono (%); H = teor de hidrogênio (%); S = teor de enxofre (%)

Foram determinadas ainda as relações C/N e C/H. Para análise da densidade básica foram utilizadas as cunhas opostas dos discos, estes foram retirados das porções 0%, DAP, 20%, 40%, 60% e 80% da altura total da árvore de cada classe diamétrica. A densidade básica da madeira (DBm) foi determinada pelo método do deslocamento de água, descrito pela Norma Brasileira Regulamentadora – NBR 11941, da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2003). A densidade de cada parcela foi o resultado da média aritmética das densidades de cada classe diamétrica.

O poder calorífico superior (PCS) foi determinado pela norma NBR 8633 (ABNT, 1984). Com esse resultado foi possível obter o poder calorífico inferior, por meio da fórmula preconizada por Doat (1977), citada por Brito e Barrichelo (1982):

$$PCI = PCS - 600 \times 9 \times H/100$$

O potencial energético foi calculado pela seguinte expressão, conforme relatado por Lima et al.(2011), sendo utilizada a massa seca da árvore inteira:

$$PE = PCI * MST$$

Em que:

PE = Potencial energético (Gcal ha^{-1}); PCI = Poder Calorífico Inferior (Gcal ton^{-1}); MS = Massa seca total (ton ha^{-1}).

A análise de potencial energético foi estimada com base no PCI. Foi verificada a homogeneidade da variância pelo teste de Bartlett, e a normalidade dos

erros pelo teste de Shapiro-Wilk. No caso de não atendimento da distribuição normal os dados foram transformados em \sqrt{x} . Após esta etapa procedeu-se a análise de variância (ANOVA) com uso do teste F ao nível de 5% de significância, na comprovação de diferenças entre os tratamentos, foi realizado o teste de Tukey ao nível de 5% de significância com o auxílio do programa estatístico ASSISTAT® (SILVA; AZEVEDO, 2016).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação entre os fatores clones e espaçamentos para o poder calorífico, o potencial energético, a análise química elementar, o teor de cinzas, a biomassa aérea e a densidade básica da madeira. Não foi observado diferenças entre os clones AEC1528, I144 e GG100 e entre os espaçamentos de plantio para o PCS e para o PCI (Tabela 2). Os clones apresentaram PCS médio de 4.700 Kcal kg⁻¹ e o PCI médio de 4.352 Kcal kg⁻¹. O poder calorífico está relacionado com a quantidade de energia liberada pela durante a queima da biomassa, muito importante para se conhecer a capacidade energética de determinada espécie (SANTOS, 2010).

Tabela 2. Produtividade energética para plantios de eucalipto em espaçamentos adensados de plantio, em Jataí, GO, 2017.

Clones	BMT* Mg ha ⁻¹	DBm** g cm ⁻³	PCS Kcal kg ⁻¹	PCI Kcal kg ⁻¹	PE Gcal ha ⁻¹	Cinzas %
AEC 1528	117,05 b	0,398 b	4724 a	4374 a	586,76 a	1,69 a
I144	140,29 a	0,416 a	4706 a	4359 a	748,00 a	1,49 ab
GG100	140,30 a	0,414 a	4670 a	4321 a	692,11 a	1,31 b
Espaçamento	BMT* Mg ha ⁻¹	DBm** g cm ³	PCS Kcal kg ⁻¹	PCI Kcal kg ⁻¹	PE Gcal ha ⁻¹	Cinzas %
3,0 m x 0,5 m	150,89 a	0,408 a	4685 a	4366 a	812,80 a	1,57 a
3,0 m x 1,0 m	114,21 b	0,411 a	4714 a	4366 a	538,45 b	1,43 a
CV (%)	Nd	Nd	1,05	1,16	17,69	14,09

Em que: BMT= biomassa total, DBm= densidade básica da madeira, PCS = poder calorífico superior, PCI = poder calorífico inferior, PE = potencial energético. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.*Valores obtidos em Martins (2016), **Valores obtidos em Castilho (2016).

A semelhança entre o poder calorífico da madeira para os clones deste estudo pode estar relacionado ao PCS e o PCI variarem pouco dentro de um mesmo gênero (JESUS et al., 2017). Diferenças no poder calorífico de até 300 Kcal kg⁻¹ não influenciam na geração de energia (BRAND, 2010).

Valores semelhantes de poder calorífico superior e inferior foram encontrados por diversos autores para madeira de *Eucalyptus spp.*, mostrando que os resultados encontrados para a biomassa aérea estão coerentes com a literatura, com PCS entre 4.603 Kcal kg⁻¹ e 4.734 Kcal kg⁻¹ e PCI de 4.296 kcal kg⁻¹ (LIMA et al., 2011; ARRUDA et al., 2013; ZANÚNCIO et al., 2013; PROTÁSIO et al., 2014a; ZANÚNCIO et al., 2014), em espaçamentos convencionais. Os resultados encontrados neste estudo podem ser considerados satisfatórios, visto a idade dos clones deste estudo, 33 meses de idade, tem apresentando poder calorífico da biomassa aérea semelhante a plantios entre 6 e 7 anos de idade. Carneiro et al. (2014), estudando os clones GG100 e GG157, demonstraram que os valores do PCS aos 3 anos de idade são inferiores do que aos 5 anos.

Para o gênero *Eucalyptus* em idades semelhantes à deste estudo, aos 36 meses de idade, Carneiro et al. (2014) encontraram os valores médios de PCS entre 4.542 kcal.kg⁻¹ e 4.633 kcal.kg⁻¹. Para o clone GG100, Carneiro et al. (2014) encontraram PCS de 4.633 kcal kg⁻¹, para o clone I144, Protásio et al. (2014b) observaram PCS de 4.514 kcal kg⁻¹ aos 57 meses de idade, valores estes inferiores ao observado neste estudo aos 33 meses de idade. Estas diferenças no poder calorífico para os clones GG100 e I144 encontrado neste estudo em relação a Carneiro et al. (2014) e Protásio et al. (2014b), podem estar relacionadas ao se ter analisado o poder calorífico da biomassa aérea (madeira + casca + folhas e galhos) o que pode ter levado á acréscimos no poder calorífico, pois segundo Eloy et al. (2016) as folhas apresentam valores médios mais elevados de poder calorífico superior que a madeira, casca e galhos. A contribuição das folhas para aumento no poder calorífico pode estar relacionada á presença de óleos. De acordo com a espécie, as folhas, segundo Vitti e Brito (2003), podem apresentar de 0,3% a 3,5% de óleo.

Os espaçamentos adensados de plantio não influenciaram o PCS e o PCI da biomassa aérea (Tabela 2), apresentando PCS médio de 4.703 kcal kg⁻¹, e PCI médio de 4.367 kcal kg⁻¹. Resultados semelhantes ao obtido neste estudo foram encontrados por diversos autores, Garcia et al. (2016) estudando espaçamentos de

2,8m x 0,5 m a 2,8m x 2,5 m, para *E. urophylla* x *E. grandis*, não encontraram diferenças no poder calorífico da madeira entre os espaçamentos aos 18, 24 e 30 meses de idade. Rocha et al. (2016) em espaçamentos de 3,0 m x 0,5 m a 3,0 m x 3,0 m obtiveram resultados semelhantes para poder calorífico entre os diferentes espaçamentos de plantio para um clone de *E. grandis* x *E. camaldulensis* aos 7 anos de idade. Estes autores encontraram PCS entre 4.337 kcal.kg⁻¹ e 4.751 kcal.kg⁻¹.

Os clones variaram quanto a DBm (g cm⁻³), sendo a maior DBm encontrada para os clones I144 e GG100. Para os espaçamentos a densidade de plantio a DBm média foi de 0,410 g cm⁻³ (Tabela 2). A diferença significativa encontrada entre a densidade dos clones pode ser justificada pelo fato de que a densidade pode variar mesmo entre indivíduos da mesma espécie (CASTILHO, 2016) e entre árvores do mesmo gênero (SANTANA, 2009). Os valores obtidos de DBm estão em consonância com os resultados encontrados por Protásio et al. (2014b) para clones de *Eucalyptus* sp. aos 57 meses de idade, com densidade básica média de 0,458 g cm⁻³, e por Carneiro et al. (2014), que encontraram para os clones GG100, GG157, aos 36 meses de idade, densidade básica de 0,45 g cm⁻³, 0,45 g cm⁻³, respectivamente.

A não influência dos espaçamentos adensados sobre a DBm corroboram os resultados encontrados por Eloy et al. (2014) em espaçamentos de 2,0 m x 1,0 m a 3,0 m x 1,5 m, aos 12 e 36 meses de idade, para *E. grandis*, e por Lopes et al. (2017), para clones de *Eucalyptus* sp. e um híbrido de *C. citriodora* nos espaçamentos de 3,0 m x 1,0 m, 3,0 m x 1,5 m e 3,0 m x 3,0 m, aos 12 meses de idade, em que os espaçamentos não influenciaram a densidade básica. A densidade é uma importante propriedade da madeira, pois se relaciona com a produção de energia, de forma que, quanto maior a densidade, maior será a quantidade de energia estocada por unidade de volume (PROTÁSIO et al., 2014b). Portanto, essa característica é muito importante para a escolha de espécies para queima direta da madeira (CARNEIRO et al., 2014).

O potencial energético não variou entre os clones. O espaçamento mais adensado de plantio, 3,0 m x 0,5 m, apresentou maior potencial energético, com superioridade de 274,35 Gcal ha⁻¹ em relação ao espaçamento 3,0 m x 1,0 m. A maior produção energética no espaçamento de 3,0 m x 0,5 m está relacionada principalmente à maior produção de biomassa (Tabela 2) verificada por Martins (2016), uma vez que não houve diferença entre o poder calorífico da madeira.

Resultados semelhantes para o potencial energético foram encontrados por Eloy et al. (2015) para quatro espécies florestais, onde os espaçamentos de plantio (2,0 m x 1,0 m; 2,0 m x 1,5 m; 3,0 m x 1,0 m e 3,0 m x 1,5 m) conduziram a diferentes valores de produtividades energéticas da biomassa nos diferentes compartimentos da parte aérea das plantas no terceiro ano após o plantio, sendo a maior produtividades obtida no espaçamento mais adensado. Eloy et al. (2015) relataram o potencial energético da madeira aos 36 meses de idade para *E. grandis* de 387,658 Gcal ha⁻¹ no espaçamento 2,0 m x 1,0 m.

O teor de cinzas na biomassa aérea diferiu significativamente entre os clones (Tabela 2) e não diferiu entre os espaçamentos de plantio. Os menores teores de cinzas foram encontrados para os clones I144 e GG100. Os valores encontrados podem afetar o uso energético da biomassa aérea para combustão em fornalhas e caldeiras, por as cinzas poderem formar incrustações nos equipamentos e tubulações. Os teores de cinzas encontrados neste estudo estão superiores aos encontrados por Lopes et al. (2017), Protásio et al. (2014b) e Silva et al. (2015) para o gênero *Eucalyptus* sp aos 12, 57 e 60 meses de idade, respectivamente, com teores de cinzas entre 0,26% e 0,46%. Na madeira os teores de cinzas correspondem até 1%, este maior teor encontrado, acima de 1%, está relacionado ao uso da biomassa aérea, por se ter galhos, folhas e cascas contribuindo para o aumento do teor de cinzas da biomassa.

As análises químicas da biomassa aérea (Tabela 3) mostrou que não houve diferenças no teor de carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O), nitrogênio (N) e enxofre (S), assim como para as relações C/H e C/N entre os clones e entre os espaçamentos de plantio.

Os teores de C e H influenciam o poder calorífico da madeira e, segundo Protásio et al. (2011), há uma correlação positiva entre o PCS e o teor de H e C, com tendência de maiores valores de PCS estarem associados a maiores valores percentuais de H e C.

Os teores de carbono da biomassa aérea encontrados neste estudo estão acima do relatado pela literatura, e os teores de oxigênio inferiores, em que estes valores estão entre 46% e 48% para carbono e 45% e 48% para o oxigênio (REIS et al.; 2012; NEVES et al., 2011; NEVES et al., 2013; CARNEIRO et al., 2014; PROTÁSIO et al., 2014a). Para bioenergia, é desejável que a madeira apresente

altos teores de carbono e hidrogênio e baixos teores de oxigênio, pois as altas concentrações de oxigênio decrescem o poder calorífico (PROTÁSIO et al., 2011).

Tabela 3. Análise química e relação C/H, para plantios de eucalipto em espaçamentos adensados de plantio, em Jataí, GO, 2017.

Clones	C (%)	H (%)	O (%)	N (%)	S (%)	C/H	C/N
AEC 1528	50,19 a	6,47 a	42,78 a	0,54 a	0,022 a	7,76 a	103,14 a
I144	49,90 a	6,45 a	42,88 a	0,75 a	0,024 a	7,76 a	72,65 a
GG100	50,22 a	6,48 a	42,60 a	0,67 a	0,024 a	7,75 a	75,86 a
Espaçamentos	C (%)	H (%)	O (%)	N (%)	S (%)	C/H	C/N
3,0 m x 0,5 m	50,11 a	6,46 a	42,78 a	0,62 a	0,024 a	7,75 a	87,18 a
3,0 m x 1,0 m	50,09 a	6,47 a	42,73 a	0,69 a	0,023 a	7,76 a	80,60 a
CV (%)	2,28	2,21	2,80	28,19	20,85	0,73	31,23

Onde: C = teor de carbono, H = teor de hidrogênio, O = teor de oxigênio, S = teor de enxofre, C/H = relação carbono hidrogênio. As médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Os teores de S estão inferiores ao relatado na literatura, Silva et al. (2015) que encontraram teores de 0,11% para *E. benthamii*. Resultados semelhantes são relatados na literatura por Protásio et al. (2014a) e Reis et al. (2012).

Para uso da biomassa vegetal desejam-se baixos teores de enxofre, pois as diminutas concentrações de enxofre são um aspecto positivo que viabiliza e aumenta o uso de combustíveis de biomassa vegetal pelos diversos setores industriais (PROTÁSIO et al., 2014), pois a combustão do enxofre gera o dióxido de enxofre (SO₂), que pode combinar-se com a água formando ácido sulfúrico diluído (QUIRINO et al., 2005).

Os teores de nitrogênio encontrados estão acima dos relatados pela literatura (NEVES et al., 2011; PROTÁSIO et al., 2013), em que estes autores encontraram teores variando entre 0,09% a 0,14%. Esses maiores teores de nitrogênio encontrados podem estar relacionados ao uso da biomassa aérea, refletindo em aumentos nos teores de nitrogênio, devido à presença dos compartimentos galhos e folhas. Para produção de bioenergia é desejável que a biomassa apresente baixas quantidades de nitrogênio, pois altos valores deste constituinte podem resultar na corrosão dos equipamentos utilizados, devido à liberação de gases tóxicos, durante as reações de combustão (BILGEN; KAYGUSUZ, 2008). Os valores encontrados para S e N são baixos e não afetam o uso energético da biomassa aérea para combustão.

Os clones e os espaçamentos de plantio deste estudo não diferiram para as relações C/H e C/N. Estes apresentaram relação C/H média de 7,76, a qual se encontra dentro dos resultados encontrados na literatura por Reis et al. (2012) que encontraram a relação C/H de 7,62; Soares et al. (2015) de 7,12; Protásio et al. (2014a) de 7 e 8; Silva et al. (2015) de 7,87. A relação C/N média foi de 83,88 para os clones e de 83,89 para os espaçamentos de plantio. Protásio et al. (2014a) encontraram a relação C/N de 190 e 442, aos 46 e 58 meses de idade, respectivamente, ocorrendo aumento na relação com o aumento da idade. Para uso energético desejam-se altas relações C/N, pois altas relações C/N, ou baixas relações N/C, implicam em uma quantidade menor de nitrogênio a ser liberada para o ambiente após a combustão da biomassa. Além disso, a combustão libera o dióxido de carbono para a atmosfera e a relação C/N interfere na velocidade de liberação, juntamente com umidade do material combustível (LEITE et al., 2015).

4 CONCLUSÕES

O poder calorífico superior e inferior e os componentes químicos elementares da biomassa aérea não foram afetados pelos clones e pelos espaçamentos adensados de plantio avaliados aos 33 meses de idade.

Os menores teores de cinzas da biomassa aérea e a maior densidade básica média da madeira foram obtidos para os clones mais produtivos em biomassa I144 e GG100.

O espaçamento mais adensado (3,0 m x 0,5 m) levou a maior produtividade energética (812,80 Gcal ha⁻¹) devido a maior produção de biomassa total.

As características energéticas da biomassa aérea apresentaram resultados semelhantes ao obtido para outras espécies do gênero *Eucalyptus* cultivadas no Brasil para a geração de energia, indicando que os atributos necessários para combustão podem também ser obtidos em florestas adensadas.

5 REFERÊNCIAS

- ANDRADE, L. R. M. Corretivos e fertilizantes para culturas perenes e semiperenes. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2ª ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 317 – 366. 2004.
- ARRUDA, T. P. M., HEIN, P. R. G., FONSECA, A. S., CASTRO, J. P. Propriedades da madeira do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* para uso energético no Mato Grosso. **Revista de Ciências Agroambientais**, Alta Floresta, v.11, n.2, p.127-136, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR11941**: madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro: 2003. 6 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 8112**: carvão vegetal: análise imediata. Rio de Janeiro: 1986. 8p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8633**: carvão vegetal: determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro: 1984. 13p.
- BILGEN, S.; KAYGUSUZ, K. The calculation of the chemical exergies of coal-based fuels by using the higher heating values. **Applied Energy**, v. 85, p. 776-785, 2008.
- BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco energético nacional 2016: Ano base 2015**. Rio de Janeiro: EPE, 2016, 294 p. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal.aspx?anoColeta=2016&anoFimColeta=2015>>. Acesso em: 25 maio 2017.
- BRAND, M. A. **Energia de Biomassa Florestal**. Rio de Janeiro: Interciência; 2010.
- BRITO, J. O.; BARRICHELO L. E. G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão: 2 - Densidade da madeira x densidade do carvão. **Série Técnica - IPEF**, n.20, p.121-126, 1980.
- BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Aspectos técnicos da utilização da madeira e carvão vegetal como combustíveis. In: **Seminário de abastecimento energético industrial com recursos florestais**, 2., 1982, São Paulo. Palestras apresentadas. São Paulo: Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, 1982. p. 101-137.
- CALEGARI, L.; FOELKEL, C. E. B.; HASELEIN, C. R.; LUIS, J.; ANDRADE, S.; SILVEIRA, P.; SANTINI, E. J. Características de algumas biomassas usadas na geração de energia no Sul do Brasil. **Biomassa & Energia**, Viçosa, v. 2, n. 1, p. 37-46, 2005.
- CARBONARI, C. A. C.; VELLINI, E. D.; ANTUNIASSI, U. R. Tecnologia de aplicação e inovações voltadas ao uso racional de defensivos agrícolas em culturas destinadas à produção de bioenergia. In: LEMOS, E. G. M.; STRADIOTTO, N. R. **Bioenergia: desenvolvimento, pesquisa e inovação**. Coleção PROPe Digital (UNESP), p. 53-73, 2012.
- CARNEIRO, A. D. C. O.; CASTRO, A. F. N. M.; CASTRO, R. V. O.; SANTOS, R. C. D., FERREIRA, L. P.; DAMÁSIO, R. A. P.; VITAL, B. R. Potencial energético da madeira de *Eucalyptus* sp. em função da idade e de diferentes materiais genéticos. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 375-381, mar./abr. 2014.

CARON, B. O.; ELOY, E.; SOUZA, V. Q., SCHMIDT, D.; BALBINOT, R.; BEHLING, A.; MONTEIRO, G. C. Quantificação da Biomassa florestal em plantios de curta rotação com diferentes espaçamentos. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 6, n. 1, p. 106, 2015.

CASTILHO, A. B. **Densidade da madeira e da casca de clones de eucalipto em espaçamentos reduzidos de plantio em diferentes classes diamétricas**. 27 f. 2016. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Goiás, Jataí- Goiás.

CASTRO, A. W. V.; FARIAS NETO, J. T.; CAVALCANTE, E. S. Efeito do espaçamento na produtividade de biomassa de taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Vogel). **Acta Amazônica**, v. 28, n. 2, p. 141-146, 1998.

DIAS JÚNIOR, A. F., ANDRADE, A. M. D., SOARES, V. W., COSTA JÚNIOR, S.; FERREIRA, D. H. A. A.; LELES, P. S. S. Potencial energético de sete materiais genéticos de *Eucalyptus* cultivados no Estado do Rio de Janeiro. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 108, p. 833-843, dez. 2015.

DRESCH, A. R.; HOEFLICH, V. A.; JÚNIOR, R. T.; SCHAITZA, E. Projeções de consumo de madeira com fins energéticos para secagem de grãos na região de Guarapuava, PR. **Floresta**, Curitiba, v. 44, n. 1, p. 81-92, jan./mar. 2014.

ELOY, E.; OTOMAR CARON, B.; SILVA, D. A.; SCHMIDT, D.; TREVISAN, R.; BEHLING, A.; ELLI, E. F. Influência do espaçamento nas características energéticas de espécies arbóreas em plantios de curta rotação. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 38, n. 3, p.551-559, 2014.

ELOY, E.; CARON, B. O.; SILVA, D. A.; SOUZA, V. Q.; TREVISAN, R.; BEHLING, A.; ELLI, E. F. Produtividade energética de espécies florestais em plantios de curta rotação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 8, p. 1424-1431, ag. 2015.

ELOY, E.; SILVA, D. A.; SCHMIDT, D.; TREVISAN, R.; CARON, B. O.; ELLI, E. F. Effect of planting age and spacing on energy properties of *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Revista Árvore**, v. 40, n. 4, p. 749-758, 2016.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA, 2013, 353 p.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/ FATEC, 1992. 201p.

GARCIA, É. A.; GUERRA, S. P. S.; JUNIOR, H. D. J. E.; SANSÍGOLO, C. A.; LANÇAS, K. P.; YAMAJI, F. M. Análise química da madeira com casca em sistemas florestais de curta rotação. **Revista Árvore**, v. 40, n. 1, p. 163-171, 2016.

GOŁOS, P.; KALISZEWSKI, A. Aspects of using wood biomass for energy production. **Forest Research Papers**, v. 76, n. 1, p. 78-87, 2015.

HYTÖNEN, J.; NURMI, J. Heating value and ash content of intensively managed stands. **Wood Research**, v. 60, n. 1, p. 71-82, 2015.

IBÁ - Indústria Brasileira De Árvores. **Anuário estatístico IBÁ 2016**, ano base 2015. Brasília: IBÁ, 2016, 100 p. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2016_.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2017.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Estação 83464: Jataí/GO. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 9 dez. 2013.

JESUS, M. S.; COSTA, L. J.; FERREIRA, J. C.; FREITAS, F. P.; SANTOS, L. C.; ROCHA, M. F. V. Caracterização energética de diferentes espécies de *Eucalyptus*. **Floresta**, v. 47, n. 1, p. 11-16, 2017.

LEITE, E. R. S.; PROTÁSIO, T. P.; ROSADO, S. C.S.; TRUGILHO, P. F.; MELO, I. C. N. A. Qualidade do carvão vegetal produzido a partir da madeira do cafeeiro, para uso bioenergético. **Coffee Science**, v. 10, n. 2, p. 251-261, 2015.

LIMA, R.; INOUE, M. T.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARAÚJO, A. J. D.; MACHADO, S. D. A. Efeito do espaçamento no desenvolvimento volumétrico de *Pinus taeda* L. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 2, p. 223-230, abr./jun. 2013.

LIMA, E. A.; SILVA, H.; LAVORANTI, O. J. Caracterização dendroenergética de árvores de *Eucalyptus benthamii*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 65, p. 09, jan./mar. 2011.

LOPES, E. D.; LAIA, M. L.; SANTOS, A. S.; SOARES, G. M.; LEITE, R. W. P.; SOUZA M. N. Influência do espaçamento de plantio na produção energética de clones de *Corymbia* e *Eucalyptus*. **Floresta**, v. 47, n. 1, p. 95-104, 2017.

MARTINS W. R. **Produção de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em plantios adensados no sudoeste goiano**. 2016. 71 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Goiás, Jataí- Goiás.

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

NEVES, T. A.; PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F.; VALLE, M. L. A.; SOUSA, L. C.; VIEIRA, C. M. Qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus* em diferentes idades para a produção de bioenergia. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 56, n. 2, p. 139-148, abr./jun. 2013.

NONES, D. L.; BRAND, M. A.; CUNHA, A. B.; CARVALHO, A. F.; WEISE, S. Determinação das propriedades energéticas da madeira e do carvão vegetal produzido a partir de *Eucalyptus benthamii*. **Floresta**, v. 45, n. 1, p. 57-64, 2014.

PROTÁSIO, T. P.; BUFALINO, L.; TONOLI, G. H. D.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; JÚNIOR, M. G. Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 66, p. 113, 2011.

PROTÁSIO, T. D. P.; COUTO, A. M.; REIS, A. A. D.; TRUGILHO, P. F. Seleção de clones de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal e bioenergia por meio de técnicas univariadas e multivariadas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 97, p. 015-028, mar. 2013.

PROTÁSIO, T. P.; GOULART, S. L.; NEVES, T. A.; TRUGILHO, P. F.; RAMALHO, F. M. G.; SOUZA BRITES, L. M. R. Qualidade da madeira e do carvão vegetal oriundos de floresta plantada em Minas Gerais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 34, n. 78, p. 111-123, 2014a.

- PROTÁSIO, T. P.; NEVES, T. A.; REIS, A. A.; TRUGILHO, P. F. Efeito da idade e clone na qualidade da madeira de *Eucalyptus* spp visando à produção de bioenergia. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 2, p. 465-477, abr./jun. 2014b.
- QUIRINO, W. F.; VALE, A. T.; ANDRADE, A. P.; ABREU, V. L. S.; AZEVEDO, A. D. S. Poder calorífico da madeira e de materiais lignocelulósicos. **Revista da Madeira**, n.89, p.100-106, 2005.
- REINER, D. A.; SILVEIRA, E. R.; SZABO, M. S. O uso do eucalipto em diferentes espaçamentos como alternativa de renda e suprimento da pequena propriedade na região sudoeste do Paraná. **Synergismus Scientifica UTFPR**, v. 6, n. 1, 2011.
- ROCHA, M. F. V.; VITAL, B. R.; CARNEIRO, A. C. O.; CARVALHO, A. M. M. L.; CARDOSO, M. T.; HEIN, P. R. G. Effects of plant spacing on the physical, chemical and energy properties of *Eucalyptus* wood and bark. **Journal of Tropical Forest Science**, v.28, n.3, p. 243-248, 2016.
- REIS, A. A.; PROTÁSIO, T. P.; MELO, I. C. N. A.; TRUGILHO, P. F.; CARNEIRO, A. D. C. O. Composição da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus urophylla* em diferentes locais de plantio. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 71, p. 277, 2012.
- RIBEIRO, M. D. S. B.; JORGE, L. A. B.; MISCHAN, M. M.; SANTOS, A. L.; BALLARIN, A. W. Avaliação da produção de biomassa do fuste de um clone híbrido de eucalipto sob diferentes espaçamentos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 1, p. 31-45, jan./mar. 2017.
- SANTANA, W. M. S. crescimento, produção e propriedades da madeira de um clone de *Eucalyptus grandis* e *E. urophylla* com enfoque energético. 104 f. 2009. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Produtos Florestais) – Lavras: UFLA.
- SANTOS, R. C. **Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto**. 2010. 173f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- SANTOS, L. C.; CARVALHO, A. M. M. L.; PEREIRA, B. L. C.; OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A. D. C. O.; TRUGILHO, P. F. Propriedades da madeira e estimativas de massa, carbono e energia de clones de *Eucalyptus* plantados em diferentes locais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 971-980, set./out. 2012.
- SANTOS, R. C.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R., CASTRO, R. V. O.; VIDAURRE, G. B.; TRUGILHO, P. F.; CASTRO, A. F. N. M. Influência das propriedades químicas e da relação siringil/guaiacil da madeira de eucalipto na produção de carvão vegetal. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 2, p. 657-669, abr./jun. 2016.
- SEREGHETTI, G. C.; SOLER, R. R.; SOUZA, F. M. L.; LANÇAS, K. P.; GUERRA, S. P. S. Quantificação de estoques de biomassa e carbono no plantio de um híbrido *Eucalyptus urophylla* vs. *Eucalyptus grandis* em diferentes espaçamentos. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, v.27, n.1, p. 64-73, 2016.
- SILVA, A. C.; TORRADO, P. V.; ABREU JÚNIOR, J.S. Métodos de quantificação da matéria orgânica do solo. **Revista Unifenas**, Alfenas – MG, v.5, p.21-26, 1999.
- SILVA, D. A.; MULLER, B. V.; KUIASKI, E. C.; ELOY, E.; BEHLING, A.; COLAÇO, C. M. Propriedades da madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de energia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 35, n. 84, p. 481-485, 2015.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal Agricultural Research**. v.11, n.39, p. 3733-3740. DOI: 10.5897/AJAR2016.11522; 2016.

SIMÕES, J. W.; BRANDI, R. M.; MALINOVSKY, J. R. **Formação de florestas com espécies de rápido crescimento**. Brasília: IBDF/PNUD/FAO, 1976. 74p.

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e inventário florestal**. 3ª reimpressão. ed. Viçosa: UFV, p. 61 – 102, 2010.

SOARES, V. C.; BIANCHI, M. L.; TRUGILHO, P. F.; HÖFLER, J.; PEREIRA, A. J. Análise das propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto em três idades. **Cerne**, v. 21 n. 2, p. 191-197, 2015.

TRUGILHO, P. F.; GOULART, S. L.; ASSIS, C. O.; COUTO, F. B. S.; ALVES, I. C. N.; PROTÁSIO, T. P.; NAPOLI, A. Características de crescimento, composição química, física e estimativa de massa seca de madeira em clones e espécies de *Eucalyptus* jovens. **Ciência Rural**, v. 45, n. 4, p. 661-666, 2015.

VIDAL, A. C. F.; HORA, A. B. **Perspectivas do setor de biomassa de madeira para a geração de energia**. BNDES Setorial, n. 33, 2011, p. 261-314. Disponível em: < <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/2523>>. Acesso em: 18 abr. 2017.

VITTI, A. M. S, BRITO, J. O. **Óleo essencial de eucalipto**. Piracicaba: ESALQ, 2003. 26 p. (documentos florestais nº 17).

ZANÚNCIO, A. J. V.; MONTEIRO, T. C.; LIMA, J. T., ANDRADE, H. B.; CARVALHO, A. G. Drying Biomass for Energy Use of *Eucalyptus urophylla* and *Corymbia citriodora* Logs. **Bio Resources**, v. 8, n. 4, p. 5159-5168, 2013.

ZANÚNCIO, A. J. V.; CARVALHO, A. G.; TRUGILHO, P. F.,; MONTEIRO, T. C. Extractives and energetic properties of wood and charcoal. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 369-374, mar./abr. 2014.

CAPÍTULO 4 - CRESCIMENTO DE CLONES DE EUCALIPTO E MODELAGEM HIPSSOMÉTRICA EM FLORESTA ENERGÉTICA EM SISTEMA DE TALHADIA SIMPLES

RESUMO – O manejo de povoamentos florestais pode ser realizado pela condução das brotações pelo método de talhadia simples. O entendimento do crescimento e da produção deste regime de manejo é importante para a manutenção da produtividade florestal e para a avaliação da possibilidade de uso do sistema de talhadia simples ao invés da reforma do povoamento. Objetivou-se com esse estudo avaliar o crescimento e a sobrevivência, além de ajustar e selecionar modelos hipsométricos adequados para estimar a variável altura total em povoamentos de clones de eucalipto submetidos ao regime de talhadia simples. Foi instalado um experimento em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em arranjo fatorial 3 x 2, sendo três clones (AEC1528, I144 e GG100) e dois espaçamentos de plantio (3,0 m x 0,5 m e 3,0 m x 1,0 m). Aos 33 meses de idade, foi realizado o corte raso na área e quando as brotações estavam com cerca de 1,0 m de altura as cepas foram desbrotadas. Aos 12 meses de idade foi realizado o censo na área e mensurou-se o diâmetro a 1,30 m em relação ao nível do solo e a altura total (HT). Os dados obtidos foram utilizados para ajustar modelos hipsométricos. Também foi avaliada a altura, o diâmetro e a sobrevivência dos clones nos dois espaçamentos de plantio. O melhor modelo ajustado segundo os parâmetros estatísticos utilizados (R^2 ajustado, erro padrão da estimativa, valor de F, coeficiente de variação e dispersão dos resíduos), foi $\log (h - 1,30) = \beta_0 + \beta_1 * \log [d / (1/d)] + e$ e para clones, espaçamentos, tratamentos e todos os dados analisados conjuntamente. O crescimento em altura e diâmetro não foi influenciado pelos clones e nem pelos espaçamentos de plantio aos 12 meses de idade, assim como a sobrevivência.

Palavras – chave: *Eucalyptus*, Espaçamentos adensados, Crescimento.

GROWTH OF EUCALYPTS CLONES AND HYSOMETRIC MODELING IN ENERGY FOREST IN SIMPLE COPPICE SYSTEM

SUMMARY - The management of forest stands can be accomplished by the management of the shoots by the simple coppice method. The understanding of the growth and production of this management regime is important for the maintenance of the forest productivity and for the evaluation of the possibility of using the simple coppice system instead of the reforestation. The objective of this study was to evaluate growth and survival, as well as to adjust and select suitable hypsometric models to estimate the total height variable in stands of eucalypt clones submitted to the simple coppice regime. A completely randomized design experiment (DIC) in a 3 x 2 factorial arrangement was installed, with three clones (AEC1528, I144 and GG100) and two planting spacings (3,0 m x 0,5 m and 3,0 m x 1,0 m). At 33 months of age, the cut was done in the area, and when the sproutings were about 1,0 m high, the strains were cleared. At 12 months of age the census was carried out in the area and the diameter was measured at 1.30 m in relation to the soil level and total height (HT). The data obtained were used to fit hypsometric models. The height, diameter and survival of the clones in the two planting spacings were also evaluated. The best model adjusted according to the statistical parameters used (adjusted R², standard error of estimate, F value, coefficient of variation and dispersion of residues) was $\log (h = 1.30) = \beta_0 + \beta_1 * \log [d / 1 / d] + \varepsilon$ for clones, spacings, treatments and all data analyzed together. Growth in height and diameter was not influenced by clones and planting spacings at 12 months of age, as well as survival.

KEYWORDS: *Eucalyptus*, Spacing, Growth.

1 INTRODUÇÃO

O gênero *Eucalyptus* cobre a maior área dos reflorestamentos no mundo. O grande número de espécies deste gênero, a grande plasticidade ecológica e excelente produtividade tornou-o matéria-prima de inúmeras indústrias florestais, o que permitiu um rápido avanço no conhecimento silvicultural e tecnológico de muitas espécies. De maneira geral, grande parte dos eucaliptos tem capacidade de regenerar-se após o corte e, por isso, as florestas têm sido manejadas com uma rotação de alto fuste seguidas de uma ou mais rotações de brotações (FINGER et al., 1993).

As brotações produzidas para o gênero *Eucalyptus* crescem usando o sistema radicular já desenvolvido (ZBONAK et al., 2007), apresentando maior crescimento inicial devido à utilização de reservas orgânicas e inorgânicas na cepa ou nas raízes (WALTERS et al., 2005), que são importantes durante a quebra de dormência das gemas (REIS; REIS, 1997). O crescimento e produção das brotações podem ser influenciados pelo manejo das brotações (COUTO; MULLER, 2008).

Dentre os aspectos envolvidos no manejo de um povoamento florestal está o espaçamento de plantio, o qual influencia o crescimento individual das plantas e interfere no crescimento conjunto, além de intervir na qualidade da madeira (SILVEIRA et al., 2014). A maior densidade populacional contribui para a maior produtividade volumétrica (REINER et al., 2011) e de biomassa (CARON et al., 2015), podendo afetar a taxa de competição entre as plantas por água, luz e nutrientes (ZANINE; SANTOS, 2004), refletindo no crescimento e na sobrevivência das brotações.

As espécies de *Eucalyptus* plantadas no Brasil apresentam respostas de crescimento bem variadas, em função da qualidade do local de plantio e dos espaçamentos utilizados (OLIVEIRA NETO et al., 2010), de forma que a estimativa da produtividade florestal é necessária para o manejo efetivo da floresta (WANG; KLINKA, 1996). A estimativa de volume de madeira em povoamentos florestais de eucalipto pode ser estimada medindo se o diâmetro de todas as árvores do local

amostrado e apenas algumas alturas, sendo as alturas restantes estimadas por meio de modelos matemáticos (relação hipsométrica), em que onde há a estimativa da altura das árvores remanescentes (BARTOSZECK et al., 2004), reduzindo o tempo e o custo do levantamento de dados no inventário florestal (RIBEIRO et al., 2010).

Diversas variáveis podem influenciar a relação hipsométrica, tais como idade, região de plantio, variação genética, tratos silviculturais, sistema de amostragem, densidade, tamanho da copa, posição sociológica (RIBEIRO et al., 2008) e manejo adotado (SOUSA et al., 2013). Dentre estes regimes de manejo, para o sistema de talhadia simples existem poucos estudos de relações hipsométricas (SOUSA et al., 2013; RUFINO et al., 2010). Sousa et al. (2013) encontraram comportamento diferenciado quanto ao ajuste dos modelos hipsométricos para povoamentos manejados sob o sistema de alto fuste e talhadia simples, comprovando que cada área necessita de um modelo adequado as suas condições.

Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o crescimento em diâmetro e altura, assim como a sobrevivência em povoamentos de clones de eucalipto submetidos ao regime de talhadia simples, em espaçamentos adensados de plantio, e selecionar equações hipsométricas adequadas para estimar a variável altura total.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em um povoamento de três clones de eucalipto instalado na Universidade Federal de Goiás, Regional Jataí, no município de Jataí, GO, nas coordenadas 17° 56' 10" S e 51° 43' 40" O, com altitude de 662 m. Segundo a classificação climática de Köppen o clima da região é classificado como Aw, com chuva no verão e seca no inverno; (Figura 1). A temperatura média histórica foi de 23,7 °C e a precipitação média foi de 1.645 mm (INMET, 2013).

O solo da área é classificado como Plintossolo (EMBRAPA, 2013), o qual teve sua fertilidade avaliada no início do experimento (Tabela 1) O solo da área é classificado como Plintossolo (EMBRAPA, 2013), o qual teve sua fertilidade avaliada no início do experimento (Tabela 1), sendo realizada análise de solo na camada de 0-20 cm de profundidade, na área experimental, coletando-se 10 amostras simples para formar uma amostra composta. Em novembro de 2012, foi realizado o plantio

manual na área, com tratamento do sistema radicular das mudas em calda cupinicida.

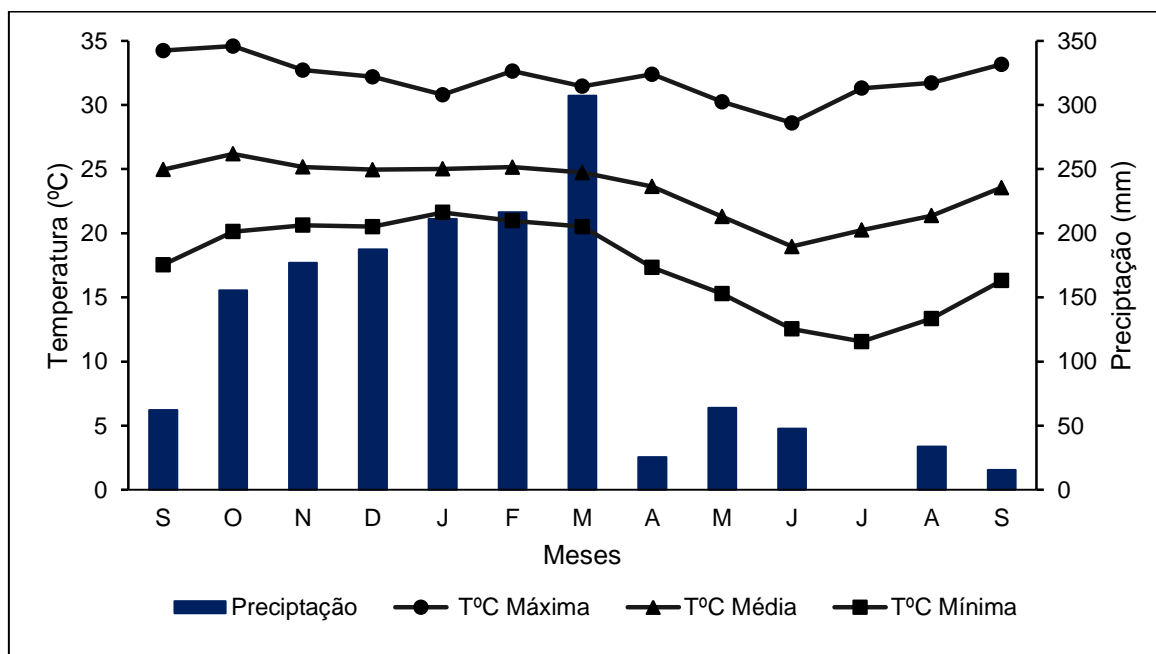


Figura 1. Precipitação média anual e temperatura máxima, média e mínima anual para o período de avaliação do experimento, de setembro de 2015 a setembro de 2016, em Jataí, GO. Fonte: Inmet, 2016.

Posteriormente foi realizada a recomendação da adubação conforme Andrade (2004), sendo o preparo da área efetuado com escarificação mecânica a 25 cm de profundidade e posterior adubação de plantio, com a aplicação da formulação NPK 4-14-8 (com 12% de Ca e 10% S), na quantidade de 150 gramas por cova. Na adubação de cobertura, aplicaram-se N, K₂O e B nas dosagens de 60, 40 e 3 kg ha⁻¹, respectivamente.

Tabela 1. Atributos químicos do solo, para a camada de 0-20 cm de profundidade, sob plantios dos clones de eucalipto em Plintossolo, em Jataí-GO.

pH	Ca	Mg	Al	H+Al	K	P	B	Cu	Zn	S	Na
CaCl ₂	cmol _c dm ⁻³				mg dm ⁻³						
4,7	1,36	0,92	0,18	6,3	74	4,2	0,28	9,5	2,5	21,1	3,8
Argila	Silte	Areia	V	M	CTC						
g dm ⁻³			%		cmol _c dm ⁻³						
515	75	410	31,0	6,8	8,0						

O experimento foi implantado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em arranjo fatorial com três clones de eucalipto AEC1528 (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*), I144 (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*) e GG100

(híbrido espontâneo de *Eucalyptus urophylla*), em dois espaçamentos de plantio (3,0 m x 0,5 m e 3,0 m x 1,0 m), com três repetições, totalizando 18 parcelas. Cada parcela experimental constava de 50 plantas, utilizando-se bordadura simples para mensuração do crescimento e da sobrevivência.

Aos 33 meses de idade, em setembro 2015, foi realizado o corte raso na área com base no ponto ótimo de colheita determinado com inventários realizados periodicamente. Quando as brotações estavam com cerca de 1,0 m de altura, as cepas foram desbrotadas manualmente com o uso de facões e machadinhas, deixando-se um broto por cepa e no caso de falhas foram deixados dois brotos por cepa. Após a desbrota, foi realizada uma adubação de cobertura na área com 60 kg de N ha⁻¹ com ureia, 45 kg de P₂O₅ ha⁻¹ com superfosfato triplo, 53 kg K₂O ha⁻¹ com cloreto de potássio e 3 kg B ha⁻¹ com ácido bórico.

Aos 12 meses de idade, foi realizado um censo na área, sendo determinado o diâmetro a 1,30 m de altura do solo (DAP) e a altura total. A sobrevivência dos fustes foi calculada com base na relação entre o número de cepas com o número de brotações vivas. A sobrevivência das cepas foi estimada com base no número de cepas do plantio em alto fuste em relação ao número de cepas vivas na época da avaliação.

Para a modelagem da relação altura–diâmetro, utilizaram-se todas as brotações (650 árvores) sendo deixadas 20% das árvores (130 árvores) para a validação dos modelos por meio do teste Qui – quadrado (χ^2). Para o ajuste foram considerados os modelos hipsométricos apresentados na Tabela 2.

Todos os modelos foram independentemente ajustados para os clones AEC1528, GG100 e I144, para os espaçamentos 3,0 m x 0,5 m e 3,0 m x 1,0 m e para os fatores em conjunto, sendo estes a relação dos clones com os espaçamentos de plantio, e ajustados para todos os tratamentos agrupados em um único conjunto, usando o pacote SAS System (SAS Institute, 2001), visando à obtenção dos coeficientes de regressão e dos parâmetros estatísticos de comparação para a escolha da equação que melhor descreve a altura total das espécies em estudo.

A seleção da equação hipsométrica foi baseada nos seguintes critérios: o valor de F, o erro padrão da estimativa (S_{yx}), o coeficiente de variação (CV%), o coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj. \%}$) e a análise gráfica dos resíduos.

Tabela 2. Modelos hopsométricos ajustados para os clones de eucalipto aos 12 meses de idade conduzidos no sistema de talhadia simples, em Jataí, GO. 2017.

Número	Modelos
1	$h = 1,30 + [1 / (\beta_0 + \beta_1 * 1/d)]^2 + \varepsilon$
2	$h = 1,30 + \beta_0 + \beta_1 * d + \beta_2 * d^2 + \varepsilon$
3	$h = \beta_0 + \beta_1 * d + \beta_2 * d^2 + \varepsilon$
4	$h = \beta_0 + \beta_1 * d + \beta_2 * d^2 + \beta_3 * d^3 + \varepsilon$
5	$h = 1,30 + 1 / (\beta_0 + \beta_1 * 1/d + \beta_2 * 1/d^2) + \varepsilon$
6	$\log(h - 1,30) = \beta_0 + \beta_1 * \log(d) + \varepsilon$
7	$\log(h - 1,30) = \beta_0 + \beta_1 * \log(d) + \beta_2 * \log^2(d) + \varepsilon$
8	$\log(h - 1,30) = \beta_0 + \beta_1 * \log[d / (1/d)] + \varepsilon$

Em que: h – altura total das árvores individuais (metros); d – diâmetro à 1,30 m da altura do solo (centímetros); β_0 , β_1 , β_2 – parâmetros a serem estimados por quadrados mínimos; ε – erro estatístico com distribuição Normal; \log_{10} – logaritmo.
Fonte: Schneider (1998)

Foi realizado o teste Qui-quadrado (χ^2), ao nível de 5% de probabilidade, com banco de dados independente constituído de 130 árvores, para avaliar a precisão das estimativas das alturas pelos modelos ajustados com as respectivas alturas reais (SOUZA et al., 2017):

$$\chi^2 = \sum \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{\hat{y}_i}$$

Em que:

y_i = altura real das árvores;

\hat{y}_i = altura estimada das árvores pelos modelos ajustados.

Utilizou-se a análise dos parâmetros estatísticos de precisão para escolha das três melhores equações. A partir da análise gráfica dos resíduos foi selecionado apenas um modelo que melhor se ajustava para os clones, para os espaçamentos, para os fatores, assim, como para todos dados agrupados em conjunto. Os modelos

ajustados que apresentaram coeficiente não significativo foram ajustados novamente sem a variável em questão, já que a mesma não interferia no modelo.

Os dados de altura total, diâmetro e sobrevivência da cepa e das brotações fustes foram analisados no programa estatístico Assistat[®] (SILVA; AZEVEDO, 2016). Foi verificada a homogeneidade da variância pelo teste de Bartlett, e a normalidade dos erros pelo teste de Shapiro-Wilk, após foi realizada a análise de variância (ANOVA) e teste F ao nível de 5% de significância, para verificar diferença entre os tratamentos, na existência de diferença procedeu-se o teste de Tukey a 5% de significância. O software SAS[®] foi usado para ajustar os modelos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CRESCIMENTO E SOBREVIVÊNCIA

Para as variáveis crescimento em altura e diâmetro e para sobrevivência não se observou interação entre os fatores clones e espaçamentos, assim como não foi observado diferença estatística significativa entre os clones, assim como para os espaçamentos adensados de plantio (Tabela 3). Os clones apresentaram altura média de 6,9 m e diâmetro médio de 4,5 cm.

Tabela 3. Altura, diâmetro médio das brotações e sobrevivência das cepas e das brotações para clones de eucalipto aos 12 meses de idade conduzidos no sistema de talhadia simples, em Jataí, GO, 2017.

Clones	Altura (m)	Diâmetro (cm)	Sobrevivência das cepas (%)	Sobrevivência das brotações (%)
AEC 1528	6,51 a	4,27 a	81,70 a	89,33 a
I144	6,72 a	4,24 a	81,70 a	90,00 a
GG100	7,35 a	4,87 a	81,00 a	89,33 a
Espaçamentos	Altura (m)	Diâmetro (cm)	Sobrevivência das cepas (%)	Sobrevivência das brotações (%)
3,0 m x 0,5 m	6,85 a	4,28 a	82,22 a	89,66 a
3,0 m x 1,0 m	6,86 a	4,64 a	80,77 a	89,66 a
CV (%)	10,30	17,43	11,04	18,17

As médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A não variação no crescimento em altura e diâmetro encontrada neste estudo podem estar relacionadas à ausência de competição entre as plantas até os 12 meses de idade.

Resultados semelhantes foram encontrados por Leal et al. (2016) em que não foi observada diferença na altura em povoamentos de eucalipto do 5^o ao 41^o mês de idade.

Simões e Coto (1985), para brotações de eucalipto, encontraram altura entre 5,48 m e 5,98 m e diâmetro de 5,85 cm e 6,09 cm, aos 18 e 29 meses de idade, respectivamente, para 2 brotos por cepa. Já Higa e Sturion (2000) encontraram para *Eucalyptus viminalis* aos 15 meses de idade altura média de 3,1 m, resultados inferiores ao deste estudo para o crescimento em altura. A medida da altura é um meio importante para se avaliar a capacidade produtiva de uma planta, podendo apontar o potencial de produção de madeira (CAMPOS; LEITE, 2006).

Os espaçamentos de plantio 3,0 m x 0,5 m e 3,0 m x 1,0 m não influenciaram o crescimento em diâmetro e altura, com altura média de 6,86 m e diâmetro médio de 4,5 cm. Reiner et al. (2011), estudando o desenvolvimento de eucalipto em diferentes espaçamentos, encontraram diferenças no crescimento em diâmetro somente a partir dos 36 meses de idade. A possível semelhança para o diâmetro pode estar relacionada à falta de competição por luz, água e nutrientes entre as plantas.

Muller et al. (2005) e Gouveia Júnior et al. (2016) encontraram influência do espaçamento no crescimento em diâmetro, aumentando o mesmo na medida em que se aumentou a área útil por planta. Gouveia Júnior et al. (2016) estudando um povoamento do clone 1277 (*E. grandis* x *E. camaldulensis*) implantado em Jataí-GO, encontraram diferenças no crescimento em diâmetro aos 6, 18 e 24 meses de idade, segundo estes autores aos 24 meses de idade já é possível constatar os efeitos dos espaçamentos sobre o crescimento em diâmetro.

Para altura, Gouveia Júnior et al. (2016), em diferentes espaçamentos de plantio encontraram variações na altura do povoamento a partir dos 6 meses de idade e cessando aos 18 meses de idade. Já Simões e Coto (1985) encontraram resultados semelhantes ao observado neste estudo para *E. saligna* aos 18 meses de idade no espaçamento 3,0 m x 1,5 m. O crescimento em altura é menos influenciado pelo espaçamento, podendo variar de acordo com a qualidade do sítio e a idade de avaliação (OLIVEIRA NETO et al., 2010).

A sobrevivência para as cepas dos clones AEC1528, I144 e GG100 apresentaram comportamento semelhante (Tabela 3), com percentual de sobrevivência médio de 81,5%. Esta alta taxa de sobrevivência pode estar relacionada aos períodos de boa precipitação local até os 6 meses após o corte das árvores (Figura 1). Além disso, Souza et al. (2012) encontraram a maior emissão de brotação em agosto e novembro, em Vazante/MG, possivelmente, em razão do acúmulo de reservas devido a redução da temperatura, época semelhante à do corte raso neste estudo. Fatores como o local de plantio e as diferentes espécies/procedências podem influenciar na capacidade de brotação (FERRARI et al., 2004). A sobrevivência de cepas de árvores adultas acima de 80% foi observada em diversos estudos de várias espécies de eucalipto (GRAÇA; TOTH, 1990; HIGA; STURION, 1991; CAMARGO et al., 1997; HIGA; STURION, 2000; CACAU et al., 2008; SOUZA et al., 2012; ALVES, 2016).

Aos 42 meses de idade foi encontrada por Cacau et al. (2008) sobrevivência média das cepas de 82,8% e 92,8% para híbrido de *E. camaldulensis* x *E. grandis*, decepados aos 9 e 12 meses, respectivamente, Higa e Sturion (1991) encontraram a sobrevivência média para *E. benthami* e *E. camaldulensis* cortados aos 7 anos e 10,5 anos de 88%. Já Higa e Sturion (2000) para talhadia simples de *E. viminalis* aos 15 meses de idade, encontraram sobrevivência inferior a 70%. Souza et al. (2012) encontraram a sobrevivência entre os clones de eucalipto variando de 63% a 100% quando decepadas em plantio convencional, aos 55 meses de idade, evidenciando que a sobrevivência das cepas varia de acordo com o genótipo.

A sobrevivência das brotações foi superior a 89%, valor maior do que a sobrevivência das cepas. Esta maior sobrevivência pode estar relacionada à condução das brotações com dois brotos por cepas quando houve falhas, sendo deixados os brotos mais vigorosos, com maior diâmetro e altura, favorecendo a manutenção do número de indivíduos na área, e ao período de precipitação pluviométrica favorável.

Os espaçamentos adensados de plantio não influenciaram a sobrevivência para os clones AEC1528, I144 e GG100 apresentando comportamento semelhante entre os espaçamentos de plantio (Tabela 3), com sobrevivência das cepas e das brotações acima de 80%. Para povoamentos de *E. urograndis* em sistema alto fuste, Faria et al. (2015) relataram a sobrevivência de 87% aos 4,5 anos após o plantio, Magalhães et al. (2007) encontraram sobrevivência para quatro espécies de

eucalipto aos 9,4 anos de idade variando de 62,7% a 90,3%, sendo os maiores valores em espaçamentos mais amplos.

Para Lopes (2012) a sobrevivência das cepas para o clone 01 aos 12 meses de idade, em sistemas agroflorestais no arranjo 10 m x 4 m, foi entre 60% e 100%, sendo esta influenciada pelo número de brotos, de forma que, com dois brotos por cepa, a sobrevivência foi de 97%, superior ao encontrado neste estudo (89%). A menor sobrevivência encontrada neste estudo pode estar relacionada ao menor número de indivíduos por cepa, e aos espaçamentos serem mais adensados de 1,5 m² planta⁻¹ e 3,0 m² planta⁻¹, o que segundo Balloni e Simões (1980) pode levar ao aumento de falhas e árvores dominadas.

Alves (2016), avaliando o crescimento de brotações para os mesmos clones deste estudo encontrou a sobrevivência das cepas de 84% para os clones AEC1528 e GG100, e sobrevivência de 77,8% para o clone I144 aos 150 dias após o corte raso. Os valores de sobrevivência encontrados neste estudo foram inferiores para os clones AEC 1528 e GG100 (81,70%; 81,70%), ocorrendo uma redução da sobrevivência das cepas com o aumento da idade do povoamento dos 6 para os 12 meses de idade, semelhante ao encontrado por Lopes (2012), exceto para o clone I144 que obteve um aumento na sobrevivência das cepas de 3,9%.

As taxas de sobrevivência encontradas neste estudo podem ser consideradas satisfatórias para uso da madeira em sistemas de curta rotação, desde que seja analisada a produtividade e ela seja satisfatória. A condução do sistema será viável desde que se tenha rendimentos de produção de, no mínimo, 70% do povoamento inicial (GUEDES et al., 2011).

3.2 MODELAGEM HIPSOMÉTRICA

As estatísticas avaliadas para os modelos ajustados são apresentados na Tabela 4 e as validações das equações foram realizadas pelo teste do Qui-quadrado (X^2), onde se verificou que os valores do X^2 calculado foram menores que o valor de X^2 tabelado para todos os modelos ajustados, demonstrando que não existe diferença significativa entre as alturas reais e as alturas estimadas para os oito modelos testados.

Tabela 4. Valores dos critérios de desempenho dos oito modelos estudados para os clones de eucaliptos em sistema de talhadia simples, em Jataí, GO, 2017.

Modelos	CV	S _{yx} (%)	R ² _{aj.} (%)	F	Modelos	CV	S _{yx} (%)	R ² _{aj.} (%)	F
M1TD	19,67	1,16	68,56	1139,12	M1C1E1	10,91	0,65	88,92	562,92
M2TD	15,56	12,84	75,87	821,50	M2C1E1	13,45	11,09	84,91	197,98
M3TD	12,84	12,84	75,87	821,50	M3C1E1	11,09	11,09	84,91	197,98
M4TD	12,83	12,83	75,88	548,36	M4C1E1	11,06	11,06	84,99	133,15
M5TD	68,28	1,99	57,28	350,89	M5C1E1	33,25	0,97	84,62	193,52
M6TD	14,67	1,48	74,91	1559,83	M6C1E1	10,48	1,05	87,88	508,61
M7TD	14,16	1,43	76,58	854,34	M7C1E1	9,44	0,95	90,17	321,90
M8TD	7,50	0,76	93,38	7363,02	M8C1E1	4,96	0,50	97,28	2504,11
M1C1	10,07	0,57	86,79	1111,30	M1C2E1	32,63	12,31	42,46	71,83
M2C1	14,35	11,87	77,55	292,85	M2C2E1	19,89	11,00	74,48	141,11
M3C1	11,87	11,87	77,55	292,85	M3C2E1	16,20	11,00	98,00	141,11
M4C1	11,85	11,85	77,65	196,76	M4C2E1	16,21	11,01	74,51	94,55
M5C1	28,29	0,73	84,60	465,38	M5C2E1	93,81	12,00	39,49	32,32
M6C1	10,83	1,10	81,13	727,54	M6C2E1	23,58	11,51	63,38	167,12
M7C1	9,52	0,96	85,41	495,83	M7C2E1	23,64	12,11	63,21	83,64
M8C1	5,64	0,57	94,87	3128,48	M8C2E1	11,19	13,46	91,75	1068,74
M1C2	26,00	1,62	52,06	211,68	M1C3E1	23,84	6,93	75,78	173,07
M2C2	16,55	13,58	75,62	301,89	M2C3E1	12,14	10,06	84,93	155,96
M3C2	13,58	13,58	75,62	301,89	M3C3E1	10,04	10,06	84,93	155,96
M4C2	13,59	13,59	75,59	201,28	M4C3E1	10,13	10,06	84,66	102,15
M5C2	80,11	2,57	45,41	81,67	M5C3E1	78,77	6,04	72,40	73,15
M6C2	17,92	1,80	69,23	437,45	M6C3E1	14,78	9,21	83,00	269,47
M7C2	17,96	1,81	69,09	217,85	M7C3E1	13,94	9,19	84,87	155,21
M8C2	9,06	0,91	92,13	2271,90	M8C3E1	6,68	12,26	96,53	1530,73
M1C3	17,05	0,99	80,21	637,47	M1C1E2	9,42	10,47	82,56	464,84
M2C3	15,56	12,87	74,69	232,60	M2C1E2	14,85	9,75	69,86	114,57
M3C3	12,87	12,87	74,69	232,60	M3C1E2	12,33	9,75	69,86	114,57
M4C3	12,79	12,79	74,99	157,89	M4C1E2	12,18	9,79	70,57	79,32
M5C3	63,76	1,86	71,82	201,02	M5C1E2	20,43	9,38	86,15	305,75
M6C3	13,63	1,37	79,28	601,76	M6C1E2	10,68	10,35	73,65	274,93
M7C3	12,42	1,25	82,80	378,84	M7C1E2	9,57	10,81	78,86	155,21
M8C3	6,61	0,66	95,12	3062,19	M8C1E2	5,96	12,42	91,80	1098,63
M1E1	26,32	1,63	60,13	337,26	M1C2E2	10,89	8,08	85,75	584,84
M2E1	16,40	13,23	79,02	420,96	M2C2E2	11,91	10,62	80,86	205,86
M3E1	13,47	13,23	79,02	420,96	M3C2E2	9,83	10,62	80,86	205,86
M4E1	13,42	13,18	79,19	283,79	M5C2E2	9,85	10,64	80,79	137,02
M5E1	85,56	2,85	50,73	115,81	M5C2E2	27,62	6,82	86,87	321,83
M6E1	18,15	1,78	73,68	625,23	M6C2E2	9,97	9,90	83,97	509,03
M7E1	18,10	1,77	73,84	315,66	M7C2E2	9,06	9,92	86,76	318,90
M8E1	9,03	0,88	93,49	3205,28	M8C2E2	4,87	12,56	96,17	2439,64
M1E2	10,66	0,61	85,20	1716,66	M1C3E2	11,36	11,32	86,38	641,47

M2E2	14,69	12,34	73,24	408,79	M2C3E2	16,57	9,73	71,22	125,94
M3E2	12,16	12,34	73,24	408,79	M3C3E2	13,71	9,73	71,22	125,94
M4E2	12,02	12,20	73,86	281,66	M4C3E2	13,73	9,82	71,12	83,91
M5E2	27,02	0,71	86,92	991,35	M5C3E2	25,76	11,55	91,00	511,49
M6E2	11,14	1,15	78,63	1097,72	M6C3E2	12,22	10,45	78,71	374,48
M7E2	10,08	1,04	82,49	702,98	M7C3E2	11,45	10,96	81,31	220,73
M8E2	5,75	0,59	94,30	4930,45	M8C3E2	6,15	12,53	94,61	1772,74

Onde: M = modelo, TD = todos os dados (todos os tratamentos agrupados em conjunto), C = clone, E = espaçamento, E1 = espaçamento 3,0 m x 0,5 m; E2 = espaçamento 3,0 m x 1,0 m; C1 = clone AEC1528, C2 = clone I144, C3 = clone GG100.

Para todos os dados avaliados conjuntamente a maioria dos modelos apresentam valores de R^2 aj. (%) inferiores a 80%, coeficiente de variação (CV%) inferiores a 20%, exceto para o modelo 5, e erro padrão residual (S_{yx} (%)) inferior a 13%, apresentando ajustes inferiores aos clones, espaçamentos e os fatores.

Os clones AEC 1528 (clone 1) e o GG100 (clone 3) apresentaram valores semelhantes de R^2 aj. (%), estes superiores a 71%, apresentando erro padrão da estimativa (%) inferiores a 13%, e variação nos coeficientes de variação para o clone GG100 (clone 3) de 12,42% a 63,76%. O clone I144 (clone 2) apresentou maiores valores nos critérios de desempenho S_{yx} (%) (1,62% a 13,59%) e CV(%) (17,92% a 80,11%) quando comparado aos clones 1 e 3, com maior variação no R^2 aj.(%) e menores valores para o mesmo (45,51% a 75,62%).

Já para os espaçamentos, o espaçamento 3,0 x 1,0 m (Espaçamento 2) apresentou menor S_{yx} (%) (0,39% a 12,34%), menor CV(%) (5,75% a 14,69%) e maiores valores de R^2 aj. (%), superiores a 70% para todos os modelos testados, em relação ao espaçamento 3,0 m x 0,5 m (Espaçamento 1), mais adensado.

Os fatores apresentaram erros S_{yx} (%) inferiores a 14% para todos os modelos, exceto para o C1E1, em que o S_{yx} (%) foi inferior a 1,0% para os modelos 1, 5, 6, 7 e 8. Ao se analisar os outros critérios de desempenho o C2E1 apresentou desempenho inferior com menores valores de R^2 aj.(%) e maior CV (%), sendo encontrado os melhores desempenhos de R^2 aj. (%), S_{yx} (%) e CV (%) para os fatores C1E1 e o C2E2, e maiores valores de F para os fatores C2E2 e para o C3E2.

Os valores do S_{yx} (%) obtidos neste estudo mostraram-se aceitáveis, pois na sua maioria, estes variaram de 0,57% à 13,23% para os modelos de 1 a 8 (Tabela 4). Os modelos 1, 5, 6, 7 e 8 apresentaram S_{yx} (%) inferiores a 3% para todos dados analisados conjuntamente, para todos os clones, como para os espaçamentos

analisados neste estudo. Já os fatores na sua maioria apresentaram S_{yx} (%) superiores a 6%.

Os modelos 2, 3, 4 e 5 apresentaram menores valores de F, o modelo 5 apresentou os maiores valores de coeficiente de variação, os modelos 2, 3 e 4 apresentaram maior erro padrão residual, para todos os dados agrupados e em conjunto, para os clones, para os espaçamentos e para os fatores. Para o presente estudo, 65% dos modelos apresentaram R^2 aj. (%) inferiores a 80%, segundo Scolforo (1998) é comum que o valor de R^2 aj. (%) não ultrapasse 80%, uma vez que a correlação altura/diâmetro não é tão forte quanto à altura/volume.

Essa variação nos parâmetros de desempenho pode estar relacionada a diversos fatores que podem influenciar a relação hipsométrica, dentre elas a variação genética, a densidade (RIBEIRO et al., 2008) e o regime de manejo (RUFINO et al., 2010). Pois povoamentos florestais conduzidos sobre o sistema de rebrota podem apresentar diminuição na correlação entre o diâmetro e a altura total devido a características fisiológicas da árvore (RUFINO et al., 2010), podendo levar a diminuição na precisão das estimativas e, conseqüentemente, uma subestimação do crescimento (MATEUS; TOMÉ, 2009).

Os modelos 6, 7 e 8 apresentam o melhor desempenho para todos os tratamentos agrupados em conjunto. Para os clones 1 e 3 foram os modelos 1, 7 e 8, assim como para os espaçamentos 1 e 2. Já para o clone 2 foram os modelos 3, 7 e 8. Para os tratamentos 1, 4 e 6 os modelos que apresentaram melhor desempenho foram o 1, 7 e 8. Para o tratamento 2 foram os modelos 2, 3 e 8. E para os tratamentos 3 e 5 os modelos 6, 7 e 8. Estes modelos apresentaram menores coeficiente de variação, menor erro padrão residual e maiores valores de R^2 ajustado e de F.

Na Tabela 5, estão os coeficientes das três melhores equações selecionadas de acordo com a análise gráfica dos resíduos (Figura 2). O modelo escolhido para os clones 1, 2 e 3, para os espaçamentos 1 e 2, como para todos os tratamentos agrupados foi o modelo $\log(h - 1,30) = \beta_0 + \beta_1 * \log[d / (1/d)] + \varepsilon$, pois este apresentou melhor ajuste a amostra de dados, seja para todos agrupados, ou individualmente para cada clone, como para cada espaçamento de plantio, bem como para os fatores, expressos pela relação entre clones e espaçamentos.

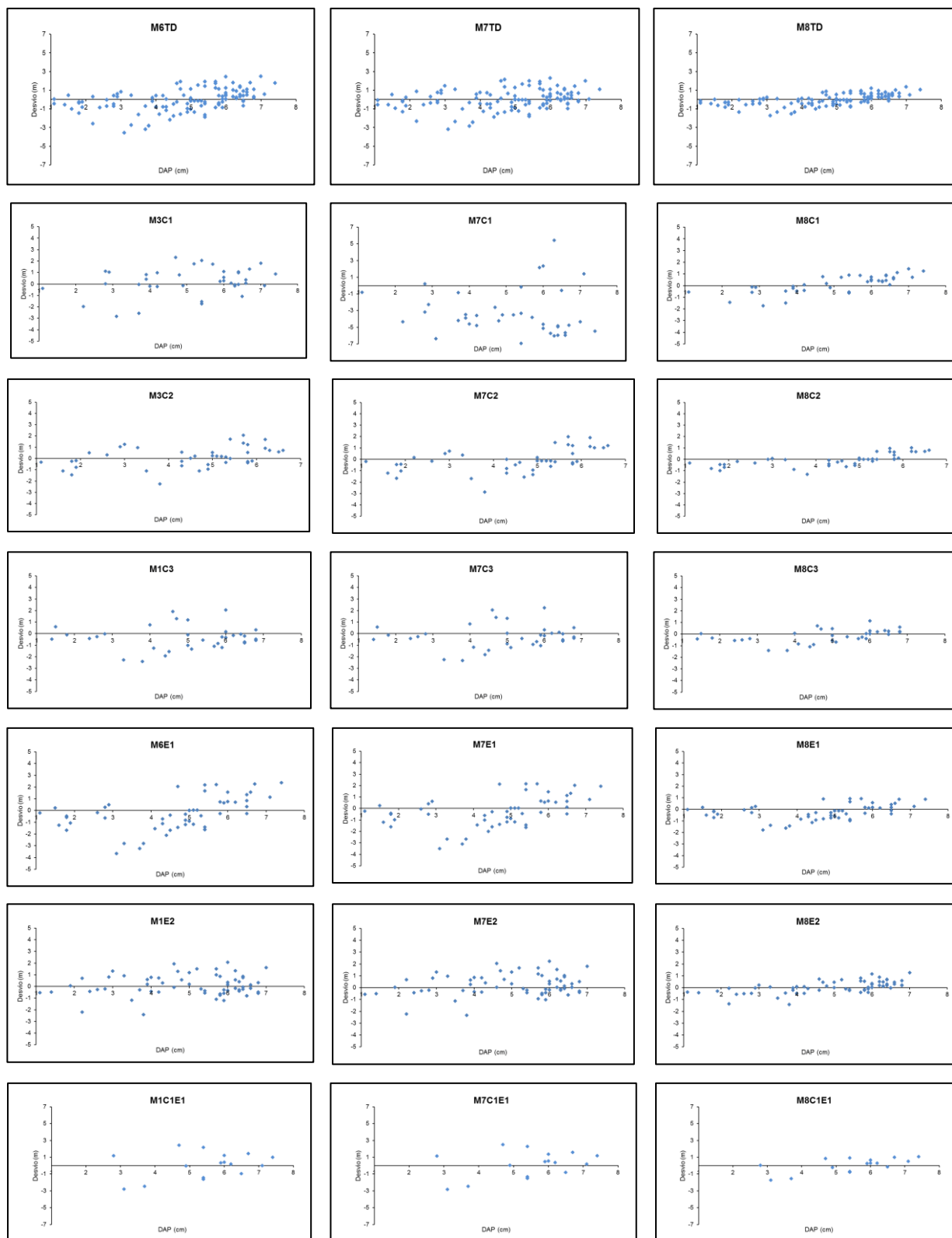
Analisando a dispersão dos gráficos de resíduos dos modelos testados (Figura 2), o comportamento dos dados ao longo da linha de regressão do gráfico

residual para o modelo 8 apresentou erros bem distribuídos sem a ocorrência de tendências em superestimar ou subestimar a variável altura total em função da variável DAP.

Tabela 5. Coeficientes das três melhores equações obtidas para os clones de eucalipto em sistema de talhadia simples, em Jataí, GO, 2017.

Ajuste	β_0	β_1	β_2	Ajuste	β_0	β_1	β_2
M6TD	0,23045	0,80736		M1C1E1	0,29395	0,47431	
M7TD	0,19152	1,154	-0,39362	M7C1E1	0,2234	1,202	-0,48462
M8TD	-0,24252	0,98777		M8C1E1	-0,17763	0,93512	
M1C1	0,29748	0,46959		M2C2E1	-0,98277	2,132	-0,12123
M7C1	0,22465	1,282	-0,61022	M3C2E1	0,31723	2,132	-0,12123
M8C1	-0,15332	0,90535		M8C2E1	-0,42654	1,169	
M3C2	0,5006	2,245	-0,15141	M6C3E1	0,15491	0,95300	
M7C2	0,17122	0,93426	-0,05683	M7C3E1	0,1646	1,241	-0,42163
M8C2	-0,32027	1,064		M8C3E1	-0,28585	1,04	
M1C3	0,2981	0,50288		M1C1E2	0,30032	0,46411	
M7C3	0,18819	1,244	-0,51111	M7C1E2	0,21951	1,349	-0,69668
M8C3	-0,23372	0,97539		M8C1E2	-0,12431	0,87385	
M6E1	0,16823	0,91362		M6C2E2	0,26536	0,76575	
M7E1	0,15454	1,058	-0,17459	M7C2E2	0,23737	1,15	-0,47165
M8E1	-0,31008	1,059		M8C2E2	-0,17779	0,92846	
M1E2	0,3037	0,4655		M1C3E2	0,30399	0,48825	
M7E2	0,22501	1,214	-0,54015	M7C3E2	0,20312	1,179	-0,47141
M8E2	-0,16867	0,91375		M8C3E2	-0,19397	0,93014	

Em que: M = modelo; TD = todos os dados (todos os tratamentos agrupados); clone; E= espaçamento; E1 = espaçamento 3,0 m x 0,5 m; E2 = espaçamento 3,0 m x 1,0 m; C1 = clone AEC1528, C2 = clone I144, C3 = clone GG100.



(continua...)

(continuação...)

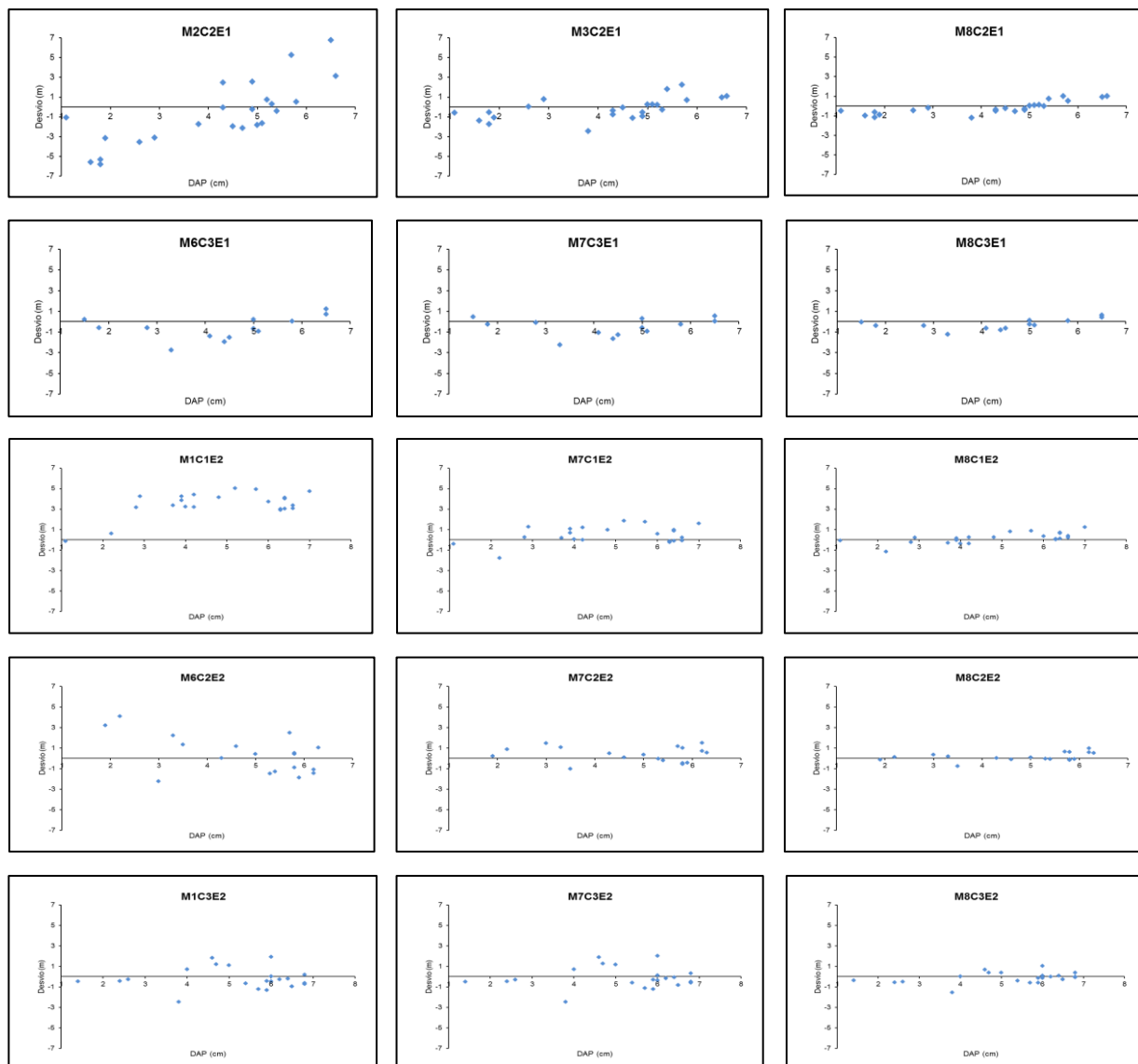


Figura 2. Dispersão dos resíduos em metros em função do diâmetro para os modelos que melhores se ajustaram para cada clone, espaçamentos, fatores, assim como para todos os tratamentos agrupados conjuntamente.

4 CONCLUSÕES

Os clones AEC1528, GG100 e I144 não apresentaram diferenças no crescimento em diâmetro e altura aos 12 meses de idade, apresentando altura média de 6,9 m e diâmetro médio de 4,5 cm. O espaçamento (3,0 m x 0,5 m e 3,0 m x 1,0 m) não afetou o crescimento, devido à ausência de competição até a idade de

avaliação, com altura média de 6,86 m e diâmetro médio de 4,5 cm. A sobrevivência para as cepas e brotações foram ambas acima de 80%.

O modelo $\log(h - 1,30) = \beta_0 + \beta_1 * \log[d / (1/d)] + \varepsilon$ apresentou melhor precisão estatística para o ajuste dos dados de altura em função do diâmetro para os clones, os espaçamentos de plantio, os dados agrupados em conjunto e os fatores.

5 REFERÊNCIAS

- ALVES, M. A. **Brotações de eucalipto em função do clone, espaçamento e tamanho de cepa**. 2016. 16 f. Especialização (Produção Florestal) Universidade Federal de Goiás, Jataí - GO.
- ANDRADE, L. R. M. Corretivos e fertilizantes para culturas perenes e semiperenes. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2ª ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 317 – 366. 2004.
- ARAÚJO, E. J. G.; DAVID, H. C.; MORAIS, V. A.; SCOLFORO, J. R. S.; NETTO, S. P.; ZANETTE, V. H.; KOEHLER, H. S. Crescimento em diâmetro e altura da regeneração natural de *Eremanthus incanus*. **Floresta**, v. 44, n. 2, p. 217-228, 2014.
- BALLONI, E. A.; SIMÕES, J. W. O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais. **Série Técnica - IPEF**, p. 1-26, 1980.
- BARTOSZECK, A. C. P. S.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; OLIVEIRA, E. B. Dinâmica da relação hipsométrica em função da idade, do sítio e da densidade inicial de povoamentos de bracatinga da região metropolitana de Curitiba, Paraná. **Revista Árvore**, Viçosa, v.28, n.24, p.517-533, 2004.
- BERGER, R. **The brazilian fiscal incentive act's influence on reforestation activity in São Paulo State**. Michigan State University, 1979. (Tese de PhD).
- CACAU, F. V.; REIS, G. G.; REIS, M. D. G. F.; LEITE, H. G., ALVES, F. F.; SOUZA, F. C. Decepa de plantas jovens de eucalipto e manejo de brotações, em um sistema agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 11, p. 1457-1465, 2008.
- CAMARGO, F. R. A; SILVA, C. R.,; STAPE, J. L. Resultados experimentais da fase de emissão de brotação em *Eucalyptus* manejado por talhadia. **Série Técnica – IPEF**, v.11, n.30, p. 115-122, 1997.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: Perguntas e Respostas**. 2. ed. Viçosa: ed. UFV, 2006. 470 p.
- CARON, B. O.; ELOY, E.; SOUZA, V. Q.; SCHMIDT, D.; BALBINOT, R.; BEHLING, A.; MONTEIRO, G. C. Quantificação da Biomassa florestal em plantios de curta rotação com diferentes espaçamentos. **Comunicata Scientiae**, v. 6, n. 1, p. 106, 2015.

COUTO, L.; MÜLLER, M. D. Florestas energéticas no Brasil. In. CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMES, E. O. **Biomassa para energia**. Campinas–SP: Unicamp, 2008.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA, 2013, 353 p.

FARIA, J. R.; SILVA, J. F.; NERIS, K. P.; LOPES, F. L. R.; SILVA, M. C.; LISBOA, E. S.; RODRIGUES, J.; CENTENO, A. J.; LOPES, F. M. Desenvolvimento de *Eucalyptus urograndis* no município de Corumbá-GO. **Ensaio e Ciência: C. Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v. 17, n. 2, 2015.

FERRARI, M. P.; FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. **Condução de plantios de *Eucalyptus* em sistema de talhadia**. Colombo: Embrapa Florestas, 28 p., 2004.

FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R.; KLEIN, J. E. M. Produção de florestas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden em segunda rotação, conduzidas com um broto por touça e submetidas a interplântio. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.3, n. 1, p.185 – 202, 1993.

GOEL, V. L.; SINGH, B. Growth and productivity potential of *Dalbergia sissoo* in short rotation coppice system on sodic soil. **Indian Journal of Forestry**, v. 31, n. 4, p. 491-499, 2008.

GOUVEIA JÚNIOR, W. V.; MATIAS, R. A. M.; SOARES, T. S. Desenvolvimento inicial de eucalipto clonal em diferentes espaçamentos. **Revista Agrotecnologia**, Ipameri, v.7, n.2, p. 40-46, 2016.

GRAÇA M. E. C, TOTH V. B. R. Rebrotas de *Eucalyptus dunnii*: a influência da altura, diâmetro e procedência no vigor das brotações. **Boletim de Pesquisa Florestal**, v.20, p. 49-57, 1990.

GUEDES, I. C. D. L.; JÚNIOR, C.; MOREIRA, L.; OLIVEIRA, A. D. D.; MELLO, J. M. D.; REZENDE, J. L. P.; SILVA, C. P. C. Economic analysis of replacement regeneration and coppice regeneration in eucalyptus stands under risk conditions. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 3, p. 393-401, jul./set. 2011.

HIGA, R.C.V.; SUTRION, J. A. Avaliação do efeito do espaçamento na capacidade de brotação de *Eucalyptus viminalis*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n.40, p.77-83, 2000.

HIGA R. C. V.; STURION J. A. Avaliação da brotação de treze espécies de *Eucalyptus* na Região de Uberaba-MG. **Boletim de Pesquisa Florestal**, v.22-23, p.79-86, 1991.

INMET -Instituto Nacional de Meteorologia. **BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Estação 83464: Jataí/GO. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 9 dez. 2013.

LEAL, A. F.; SOARES, I. M.; SOARES, T. S. Influência do espaçamento no diâmetro e altura de três clones de eucalipto. **Revista Univap**, v. 22, n. 40, p. 12, 2016.

LOPES, H. N. S. **Crescimento e produção de eucalipto submetido à desbrota, interplântio e reforma**. 2012. 65 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal de Viçosa, MG.

MAGALHÃES, W. M.; MACEDO, R. L. G.; VENTURIN, N.; HIGASHIKAWA, E. M.; YOSHITANI JÚNIOR, M. Desempenho silvicultural de clones e espécies/procedências de *Eucalyptus* na região Noroeste de Minas Gerais. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 4, p. 368-375, 2007.

MARTINS W. R. **Produção de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em plantios adensados no sudoeste goiano**. 2016. 71 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Goiás, Jataí- Goiás.

MATEUS, A.; TOMÉ, M. A dominant height growth model for *Eucalyptus* plantations in Portugal. **Discussiones Mathematicae Probability and Statistics**, v. 29, n. 2, p. 155-168, 2009.

MÜLLER M. D.; COUTO, L.; LEITE, H. G, BRITTO, J. O. Avaliação de um clone de eucalipto estabelecendo densidades de plantio para produção de biomassa e energia. **Biomassa & Energia**, Viçosa, v.2, n.3, p.177-186, 2005.

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

REINER, D. A.; SILVEIRA, E. R.; SZABO, M. S. O uso do eucalipto em diferentes espaçamentos como alternativa de renda e suprimento da pequena propriedade na região Sudoeste do Paraná. **Synergismus scyentifica UTFPR**, Paraná, v. 6, n. 1, 2011.

REIS, G. G.; REIS, M. G. F. Fisiologia da brotação de eucalipto com ênfase nas suas relações hídricas. **Série Técnica - IPEF**, v. 11, n. 30, p. 9-22, 1997.

RIBEIRO, A.; FILHO, A. C. F.; MELLO, J. M.; FERREIRA, M. Z.; LISBOA, P. M. M.; SCOLFORO, J. R. S. Estratégias e metodologias de ajuste de modelos hipsométricos em plantios de *Eucalyptus* sp. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 1, p. 22-31, 2010.

RIBEIRO, A.; FILHO, A. C. F.; MELLO, J. M.; FERREIRA, M. Z. **Diferentes estratégias de ajuste de modelo hipsométricos em plantios de *Eucalyptus* spp.** In: Simpósio Latino-Americano Sobre Manejo Florestal, 4, 2008, Santa Maria - RS. *Anais...* Santa Maria : UFSM, 2008. v. 4. p.16-22, 2008.

RUFINO, R. F., MIGUEL, E. P., SANTOS, G. A., SANTOS, T. E. B., SOUZA, F. Ajuste de modelos hipsométricos para um povoamento de eucalipto conduzido sobre o sistema de rebrota. **Enciclopédia Biosfera**, v.6, n.10, 2010.

SCOLFORO, J. R. S.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Biometria Florestal: medição e volumetria de árvores**. Textos técnicos. Lavras: UFLA. 1998. 310p.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal Agricultural Research**; 11(39): 3733-3740. DOI: 10.5897/AJAR2016.11522; 2016.

SILVEIRA, E. R.; REINER, D. A.; SMANIOTTO, J. R. Efeito do espaçamento de plantio na produção de madeira e serapilheira de *Eucalyptus dunni* na região sudoeste do Paraná. **Revista Técnico-Científica**, v. 1, n. 2, 2014.

- SIMÕES, J. W.; COTO, N. A. S. Efeito do número de brotos e da fertilização mineral sobre o crescimento da brotação de *Eucalyptus saligna* Smith, em segunda rotação. **Série Técnica - IPEF**, v.31, p.23-32, 1985.
- SOUSA, G. T. O.; DE AZEVEDO, G. B.; BARRETO, P. A. B.; JÚNIOR, V. C. Relações hipsométricas para *Eucalyptus urophylla* conduzidos sob regime de alto fuste e talhadia no Sudoeste da Bahia. **Scientia Plena**, v. 9, n. 4, 2013.
- SOUZA, F. C.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; LEITE, H. G.; ALVES, F. F., FARIA, R. S.; PEREIRA, M. M. Sobrevivência e diâmetro de plantas intactas e brotações de clones de eucalipto. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v.19, n.1, p.44-54, 2012.
- SOUZA, A. S.; SANTOS, J. X.; SOUZA, D. V. Modelagem da relação hipsométrica para um povoamento do híbrido de eucalipto na amazônia brasileira. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 2, n. 1, p. 44-53, 2017.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM - SAS. **System for Microsoft Windows**. Release 8.01. Cary: 2001. (CD-ROM).
- WALTERS, J. R.; BELL, T. L.; READ, S. Intraspecific variation in carbohydrate reserves and sprouting ability in *Eucalyptus obliqua* seedlings. **Australian Journal of Botany**, v.53, n.3, p.195-203, 2005.
- WANG, G. G.; KLINKA, K. Use of synoptic variables in predicting white spruce site index. **Forest Ecology and management**, v. 80, n. 1-3, p. 95-105, 1996.
- ZANINE, A. M.; SANTOS, E. M. Competição entre espécies de plantas – uma revisão. **Revista da FZVA**, v. 11, n. 1, 2004.
- ZBONAK, A.; BUSH, T.; GRZESKOWIAK, V. Comparison of tree growth, wood density and anatomical properties between coppiced trees and parent crop of six *Eucalyptus* genotypes. **IUFRO-Improvement and Culture of Eucalyptus**, p. 1-10, 2007.

CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O eucalipto, quando plantado em espaçamentos adensados, tem maior acúmulo de nutrientes na árvore inteira, o que resulta em maior remoção de nutrientes do sítio, o que pode influenciar a produção em condução de regimes de manejo de talhadia simples, ou alto fuste, caso a reposição nutricional não seja feita adequadamente. A manutenção de resíduos como a casca, os galhos e as folhas no área pode diminuir a remoção de nutrientes do sítio florestal.

O crescimento inicial dos clones no segundo ciclo (talhadia simples) não foi influenciado pelo espaçamento até os 12 meses de idade, podendo se inferir que não houve alta competição entre as plantas até essa idade, e estes apresentam uma alta sobrevivência no segundo ciclo, devendo-se os fatores aliados à produção serem avaliados conjuntamente para que se avalie a viabilidade de condução do sistema.

A análise do ajuste hipsométrico foi feita no início do desenvolvimento da espécie, devendo ser reavaliada posteriormente devido a mudanças no crescimento e desenvolvimento dos clones, sendo assim uma análise ainda parcial.

Os clones apresentaram características energéticas da biomassa aérea semelhante a dos clones plantados no Brasil, apresentando potencial de uso para combustão.

Portanto, espera-se que este estudo possa contribuir com os produtores que queiram optar pelo uso da madeira como fonte energética, e que optem pela condução do sistema de talhadia simples, trazendo maior conhecimento do manejo da cultura, como, maior geração de renda e desenvolvimento regional.

