

RICARDO FERNANDES PENA

**ANÁLISE SILVICULTURAL DE CLONES DE EUCALIPTO E
CARACTERÍSTICAS PRODUTIVAS DO PASTO EM SISTEMA
SILVIPASTORIL, EM CORONEL PACHECO, MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2018

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

P397a
2018

Pena, Ricardo Fernandes, 1990-
Análise silvicultural de clones de eucalipto e características
produtivas do pasto em sistema silvipastoril, em Coronel
Pacheco ,MG / Ricardo Fernandes Pena. – Viçosa, MG, 2018.
vii, 55 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Sílvia Nolasco de Oliveira Neto.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Agrossilvicultura. 2. Eucalipto. 3. Clonagem.
4. Forragem. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento
de Engenharia Florestal. Programa de Pós-Graduação em
Ciência Florestal. II. Título.

CDO adapt. CDD 22. ed. 634.9261

RICARDO FERNANDES PENA

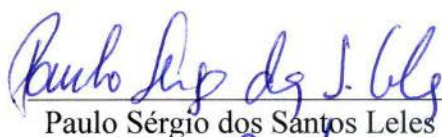
**ANÁLISE SILVICULTURAL DE CLONES DE EUCALIPTO E
CARACTERÍSTICAS PRODUTIVAS DO PASTO EM SISTEMA
SILVIPASTORIL, EM CORONEL PACHECO, MG**

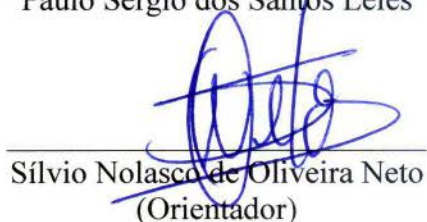
Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 08 de fevereiro de 2018.


Marcelo Dias Müller
(Coorientador)


Domingos Sávio Campos Paciullo
(Coorientador)


Paulo Sérgio dos Santos Leles


Sílvio Nolasco de Oliveira Neto
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder saúde, força e proteção.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal.

Ao professor Sílvio Nolasco de Oliveira Neto pela orientação, ensinamentos e oportunidade de crescimento pessoal e profissional.

Aos pesquisadores Dr. Domingos Sávio Campos Paciullo e Dr. Marcelo Dias Müller pela coorientação, parceria e auxílio técnico no desenvolvimento da pesquisa.

Ao professor Paulo Sérgio dos Santos Leles, pela participação na banca examinadora e sugestões.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (*CAPES*), pela concessão do auxílio financeiro de pesquisa.

À Embrapa Gado de Leite e aos seus funcionários e estagiários, pela parceria e auxílio nas atividades em campo e laboratório.

Aos meus pais, Francisco e Cristina, por todo incentivo e amor, não poupando esforços para que esta jornada fosse concluída.

Aos meus irmãos, Guilherme e Marcelo, e sobrinhas, Marcela e Valentina, pela confraternização e momentos de alegria.

À Iara, por todo o suporte, carinho e companheirismo.

Aos amigos do Departamento de Engenharia Florestal, Adênio Louzeiro, Amana Obolari, Bruno Schettini, Cristina Nolasco, Maria Tereza Angeletti, Paulo Henrique Villanova, Raphael Nascimento e Simone Silva, pela convivência e disponibilidade em ajudar nas atividades.

Aos professores Carlos Pedro Boechat, Carlos Torres, Cibele Hummel, Haroldo Nogueira, Helio Garcia, Laércio Jacovine e Sebastião Venâncio, pelo apoio às atividades de pesquisa.

Ao Leonardo Resende, proprietário da Fazenda Triqueda, pela concessão da área de estudo.

Aos amigos e familiares, por todo apoio e incentivo.

SUMÁRIO

RESUMO.....	iv
ABSTRACT.....	vi
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	3
CAPÍTULO 1 - ANÁLISE SILVICULTURAL DE CLONES DE EUCALIPTO EM SISTEMA SILVIPASTORIL.....	5
1. INTRODUÇÃO.....	5
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	7
2.1. CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO.....	7
2.2. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA SILVIPASTORIL.....	7
2.3. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E COLETA DE DADOS.....	9
2.4. DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA.....	9
2.5. CAPACIDADE PRODUTIVA.....	10
2.6. PRODUÇÃO VOLUMÉTRICA.....	10
2.7. AFILAMENTO DO FUSTE.....	12
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	14
3.1. SOBREVIVÊNCIA E DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA.....	14
3.2. CAPACIDADE PRODUTIVA.....	16
3.3. PRODUÇÃO VOLUMÉTRICA.....	18
3.4. AFILAMENTO DO FUSTE.....	22
4. CONCLUSÕES.....	27
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28
CAPÍTULO 2 - CORRELAÇÕES ENTRE CARACTERÍSTICAS SILVICULTURAIS E DO PASTO EM SISTEMA SILVIPASTORIL COM CLONES DE EUCALIPTO.....	35
1. INTRODUÇÃO.....	35
2.1. CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DO ESTUDO.....	37
2.2. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA SILVIPASTORIL.....	37
2.3. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	40
2.4. AVALIAÇÃO DO DOSSEL ARBÓREO.....	40
2.5. ALTURA DO PASTO E MASSA E ACÚMULO DE FORRAGEM.....	41
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
3.1. AVALIAÇÃO DO DOSSEL ARBÓREO.....	42
3.2. ALTURA DO PASTO E MASSA E ACÚMULO DE FORRAGEM.....	44
4. CONCLUSÃO.....	48
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49
6. APÊNDICE.....	54

RESUMO

PENA, Ricardo Fernandes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2018. **Análise silvicultural de clones de eucalipto e características produtivas do pasto em sistema silvipastoril, em Coronel Pacheco, MG.** Orientador: Sílvio Nolasco de Oliveira Neto. Coorientadores: Marcelo Dias Müller e Domingos Sávio Campos Paciullo.

Os sistemas silvipastoris, caracterizados por integrar os componentes arbóreo e pecuário simultaneamente, estão sendo estudados pelo seu potencial de recuperação da capacidade produtiva de pastagens, uso sustentável da terra, conservação da água e do solo pela proteção contra agentes erosivos, melhorias das propriedades do solo e aumento do número de produtos comerciais produzidos na propriedade. Para composição desses sistemas é necessário a escolha correta da espécie e seleção do material genético para a implantação do componente arbóreo, sendo indicadas as espécies do gênero *Eucalyptus* e seus híbridos por apresentarem características como rápido crescimento, adaptação ao clima e solo, capacidade de rebrota, entre outras. Em relação ao componente pecuário, a presença de árvores no sistema silvipastoril tende a influenciar positivamente o conforto térmico e desempenho do animal, além de melhorar a quantidade e qualidade da forragem. No entanto, devido a redução da luminosidade, o sombreamento causado pelo componente arbóreo pode causar perdas na produtividade da espécie forrageira, sendo o conhecimento do grau de sombreamento um fator de grande importância para o planejamento de sistemas silvipastoris. Nesse contexto, esse estudo foi dividido em dois capítulos: no Capítulo 1 é apresentada a distribuição diamétrica, a capacidade produtiva, a produção volumétrica e o afilamento do fuste dos clones de eucalipto GG100 e I144 (híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*) cultivados em sistema silvipastoril, no município de Coronel Pacheco, MG; no Capítulo 2 são avaliadas as características da estrutura de copa dos clones de eucalipto GG100 e I144 e a influência do sombreamento de cada clone sob a altura do pasto, a massa e o acúmulo de forragem da espécie forrageira *Urochloa brizantha*, nesse mesmo sistema. No Capítulo 1, foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, com dois tratamentos (clones) e seis repetições (parcelas). Realizou-se a mensuração do diâmetro com casca de todas as árvores das parcelas e a altura total das 10 primeiras árvores, além da cubagem rigorosa de 5 árvores por classe diamétrica. Constatou-se que o clone I144 apresentou maior diâmetro, menor conicidade do tronco e maior capacidade produtiva, em comparação ao GG100, sendo o clone I144 o mais indicado para composição de sistemas silvipastoris nas condições de estudo, baseando-se na análise silvicultural. Além disso, o modelo

proposto por Garay (1979) foi o mais eficiente para avaliar o afilamento do fuste dos clones de eucalipto. No Capítulo 2 foi adotado o delineamento em blocos casualizados com oito tratamentos, resultantes da combinação entre dois clones de eucalipto e quatro estações do ano, com três repetições (blocos). No interior dos blocos foram determinadas seis áreas de amostragem sistematicamente divididas em pares nos terços superior, médio e inferior da entrelinha do plantio de eucalipto, usados para avaliações da forragem. Constatou-se que os clones de eucalipto que compuseram os sistemas silvipastoris apresentam diferenças em suas estruturas de copa, sendo que o clone I144 apresentou maior índice de área foliar e cobertura de dossel quando comparado ao GG100. Em relação à espécie forrageira, conclui-se que a estrutura de copa dos clones exerceram efeitos similares sobre o acúmulo de matéria seca e altura do pasto, e houve influência negativa do dossel dos clones de eucalipto sobre as características produtivas da forrageira no sistema silvipastoril.

ABSTRACT

PENA, Ricardo Fernandes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2018. **Silvicultural analysis of eucalypts clones and productive characteristics of pasture in silvopastoral system, in Coronel Pacheco, MG.** Adviser: Sílvio Nolasco de Oliveira Neto. Co-advisers: Marcelo Dias Müller and Domingos Sávio Campos Paciullo.

The silvopastoral systems, characterized by integrating tree and livestock components simultaneously, are being studied for their potential to recover pasture productive capacity, sustainable land use, water and soil conservation by protection against erosive agents, improvements in soil properties and increase the number of commercial products produced on land. The composition of these systems requires the correct selection of the species and genetic material for the tree component implantation. Species of the genus *Eucalyptus* and its hybrids are indicated because they have characteristics such as high growth, adapted to climate and soil, regrowth capacity, among others. Regarding the livestock component, the presence of trees in the silvopastoral system tends to positively influence the thermal comfort and animal performance, besides improving the quantity and the quality of the forage. However, due to the luminosity reduction, the possible shading caused by the tree component can cause losses in the forage species productivity, being the knowledge of the degree of shading a factor of great importance for the planning of silvopastoral systems. In this context, this study was divided into two chapters: in Chapter 1 the diametrical distribution, productive capacity, volumetric production and stem tapering of the eucalypt clones GG100 and I144 (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* hybrids) grown in a silvopastoral system in Coronel Pacheco, MG, Brazil, are presented; in Chapter 2, are evaluated the characteristics of the crown structure of GG100 and I144 eucalypts clones and the influence of shading of each clone under pasture height, mass and forage accumulation of the species *Urochloa brizantha* in the same system. In Chapter 1, the experimental design was in a completely randomized design, with two treatments (clones) and six replicates (plots). The diameter with bark of all trees in the plots and the height of the first 10 trees were measured, in addition to the rigorous volume of 5 trees per diameter class. It was verified that I144 clone had a larger diameter, lower stem conicity and greater productive capacity, compared to GG100, and I144 clone was the most suitable for silvopastoral system composition under study conditions, based on silvicultural analysis, based on the silvicultural analysis, the model proposed by Garay (1979) was the most efficient to evaluate the tapering eucalyptus clones stem. In Chapter 2 a randomized complete block design with eight treatments was adopted, resulting from

the combination of two eucalypts clones and four seasons, with three replications (blocks). Within the blocks were determined six sampling areas divided into pairs in the upper, middle and lower thirds of the eucalyptus plantation line, used for forage evaluations. It was verified that the eucalypts clones that composed the silvopastoral systems present differences in their crown structures, and I144 clone presented a higher leaf area index and canopy cover when compared to GG100. Regarding the forage species, it was concluded that the clones crown structure exerted similar effects on the accumulation of dry matter and pasture height, and there was a negative influence of the eucalyptus clones canopy on the forage productive characteristics in the silvopastoral system.

INTRODUÇÃO GERAL

Historicamente, a pecuária foi considerada uma das principais atividades econômicas da região da Zona da Mata mineira, porém, de modo geral, foi conduzida de maneira exploratória, sem o correto manejo das pastagens, causando a deterioração de solos que já possuem baixa fertilidade natural. Atualmente, elevado percentual das áreas agricultáveis localizadas nesta região se encontra em diversos níveis de degradação (MACEDO, 2005; DIAS FILHO, 2007).

Vistos como alternativas potenciais para recuperação da capacidade produtiva das pastagens, contribuindo com a conservação do solo e da água, o aumento da eficiência do uso do solo e a diversificação da produção e renda, os sistemas silvipastoris se caracterizam por integrar os componentes arbóreo e pecuário simultaneamente (CARVALHO, 2001). Estes sistemas se destacam, principalmente, para pequenas e médias propriedades, pois reduzem os riscos econômicos de investimentos, incrementam a renda do produtor e podem ser implantados em áreas declivosas, característica comum na região (COELHO JÚNIOR et al., 2008; MÜLLER et al., 2011).

Com o objetivo de mitigar os efeitos nocivos da emissão de gases de efeito estufa e a restauração de áreas degradadas, o Governo Federal oferece programas de financiamentos com linhas de crédito subsidiado, como, o Plano ABC – Agricultura de Baixo Carbono e a linha Eco e Floresta do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar – PRONAF, contemplando modelos sustentáveis de produção, entre os quais os sistemas silvipastoril e agrossilvipastoril (Brasil, 2016).

Para compor o componente arbóreo de sistemas silvipastoris são indicadas espécies do gênero *Eucalyptus* (LIMA, 1996; REIS et al., 2007) pelo fato de determinados materiais genéticos possuírem densidade de copa que permite a transmitância da radiação para estratos inferiores do sistema em níveis que favorecem o desenvolvimento da espécie forrageira e contribuem para o desempenho animal (LEME et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2007; PACIULLO et al., 2009).

O cultivo do eucalipto é bem difundido na Zona da Mata mineira por sua capacidade produtiva e adaptação ao clima e solo da região, sendo a produção de madeira tradicionalmente destinada para lenha, carvão vegetal, e, mais recentemente, para serraria, a qual requer características específicas da madeira e elevados diâmetros e volume de tora (NOGUEIRA et al., 2008; FERREIRA et al., 2014). No entanto, além da

escolha da espécie, a seleção do material genético a ser implantado como componente arbóreo é importante para o sucesso de sistemas silvipastoril e agrossilvipastoril, assim como a aplicação de técnicas de manejo (desrama e desbaste) para conferir características desejáveis para a forma do fuste e qualidade da madeira (CAMPOS & LEITE, 2013).

Segundo Xavier et al. (2013), o cultivo de clones superiores é necessário para o aumento da rentabilidade do empreendimento. Porém, a avaliação da interação entre material genético e ambiente sob tratos culturais e o arranjo espacial utilizado também são importantes para a confiabilidade na recomendação de clones para determinado local ou região com características semelhantes.

Para o componente pecuário, o sistema silvipastoril pode melhorar a quantidade e qualidade da forragem (LIN et al., 1998; PACIULLO et al., 2007), o conforto térmico animal e seu desempenho de pastejo (LEME et al., 2005; PACIULLO et al., 2011), no entanto, o sombreamento excessivo pode causar perdas na produtividade da espécie forrageira (CASTRO et al., 1999; GUENNI et al., 2008). O conhecimento do efeito do grau de sombreamento da copa das árvores sob a produção das espécies forrageiras é importante para o planejamento de sistemas silvipastoris, buscando obter a máxima produção de forragem.

A produtividade da espécie forrageira pode oscilar quando comparado ao monocultivo em função da redução da luminosidade, podendo variar com a arquitetura de copa e o estágio de desenvolvimento da espécie arbórea (CARVALHO, 2001; OLIVEIRA et al., 2016). Assim, a escolha da espécie forrageira deve ser realizada buscando cultivares tolerantes ao sombreamento moderado e as espécies arbóreas devem possuir tamanho, forma e densidade de copa adequada para composição de sistema silvipastoril.

Nesse contexto, esse estudo foi dividido em dois capítulos: no Capítulo 1 é analisada a distribuição diamétrica, o crescimento, a produção e o afinamento do fuste dos clones de eucalipto GG100 e I144 cultivados em sistema silvipastoril, no município de Coronel Pacheco, MG; e no Capítulo 2 é avaliada a influência dos clones de eucalipto GG100 e I144 sobre o acúmulo e a altura da forrageira *Urochloa brizantha*, no mesmo sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL – Plano Safra da AGRICULTURA FAMILIAR. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Agrário. 2016. Disponível em: <<http://www.secretariadegoverno.gov.br/iniciativas/internacional/fsm/eixos/inclusao-social/plano-safra-da-agricultura-familiar>>. Acesso em: 06 mar. 2018.

CARVALHO, M.M.; FREITAS, V.; XAVIER, D. Contribuição dos sistemas silvipastoris para a sustentabilidade de atividade leiteira. In: Sustentabilidade de sistemas de produção de leite a pasto e em confinamento, 2001, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, p. 85 - 107, 2001.

CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 4 ed. Viçosa: Editora UFV, 548p., 2013.

CASTRO, C.R.T.; GARCIA, R.; CARVALHO, M.M.; COUTO, L. Produção forrageira de gramíneas cultivadas sob luminosidade reduzida. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 28, n. 5, p. 919 - 927, 1999.

COELHO JÚNIOR, L.M.; RESENDE, J.L.P.; OLIVEIRA, A.D.; COIMBRA, L.A.B.; SOUZA, A.N. Análise de risco de um sistema agroflorestal sob situação de risco. **Cerne**, v. 14, n. 4, p. 368 - 378, 2008.

DIAS FILHO, M.B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 3 ed. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 190p., 2007.

FERREIRA G.W.D.; FILHO A.C.F.; PINTO A.L.R.; SCOLFORO J.R.S. Influência do desbaste na forma do fuste de povoamentos naturais de *Eremanthus incanus* (Less.) Less. **Ciências Agrárias**. v. 35, n. 4, p. 1707 - 1720, 2014.

GUENNI, O.; SEITER, S.; FIGUEROA, R. Growth responses of three *Brachiaria* species to light intensity and nitrogen supply. **Tropical Grasslands**, v. 42, n. 2, p.75-87, 2008.

LEME, T.M.S.P.; PIRES, M.F.A.; VERNEQUE, R.S.; ALVIM, M.J.; AROEIRA, L.J.M. Comportamento de vacas mestiças Holandês x Zebu, em pastagem de *Brachiaria decumbens* em sistema silvipastoril. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 3, p. 668 - 675, 2005.

LIMA, W. P. **Impacto ambiental do eucalipto**. 2 ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 301p., 1996.

LIN, C.H.; MCGRAW, R.L.; GEORGE, M.F.; GARRETT, H.E. Shade effects on forage crops with potential in temperate agroforestry practices. **Agroforestry Systems**, v. 44, n. 2, p. 109 - 119, 1998.

MACEDO, M.C.M. Pastagens no ecossistema cerrados: evolução das pesquisas para o desenvolvimento sustentável. **Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 42, n. 2005, p. 56 - 84, 2005.

MÜLLER, M.D.; NOGUEIRA, G.S.; CASTRO, C.R.T.; PACIULLO, D.S.C.; ALVES, F.F.; CASTRO, R.V.O.; FERNANDES, E.N. Economic analysis of an agrosilvipastoral system for a mountainous area in Zona da Mata Mineira, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1148 - 1153, 2011.

NOGUEIRA, G. S.; LEITE, H. G.; REIS, G. G. MOREIRA, A. M. Influência do espaçamento inicial sobre a forma do fuste de árvores de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, v. 32, n. 5, p. 855 - 860, 2008.

PACIULLO D.S.C.; CASTRO, C.R.T.; GOMIDE, C.A.M.; MAURÍCIO, R.M.; PIRES, M.F.A.; MÜLLER, M.D.; XAVIER, D.F. Performance of dairy heifers in a silvopastoral system. **Livestock Science**, v. 141, n. 2, p. 166 - 172, 2011.

PACIULLO, D.S.C.; CARVALHO, C.A.B.; AROEIRA, L.J.M.; MORENZ, M.F.; LOPES, F.C.F.; ROSSIELLO, R.O.P. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 4, p. 573 - 579, 2007.

REIS, M.G.F.; REIS, G.G.; FONTAN, I.C.I.; MONTE, M.A.; MAGALHÃES, L.L.; SILVEIRA, V.P. Leaf area index in pruned stands of two clones of different crown architecture in an agrosilvopastoral system. In: IUFRO CONFERENCE: **Eucalypts and diversity – balancing productivity and sustainability**. Durban, 6p., 2007.

XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R.L. **Silvicultura clonal – princípios e técnicas**. 2 ed. Viçosa: Editora UFV, 272p., 2013.

CAPÍTULO 1

ANÁLISE SILVICULTURAL DE CLONES DE EUCALIPTO EM SISTEMA SILVIPASTORIL

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas silvipastoris se caracterizam por integrar os componentes arbóreo e pecuário simultaneamente. Estes se destacam como alternativas importantes para o uso mais sustentável da terra, auxiliando na proteção contra agentes erosivos e contribuindo para a conservação da água no solo, reabastecimento do lençol freático e melhoria das propriedades físicas e químicas do solo (MACEDO, 2000; XAVIER et al., 2003; CASTRO et al., 2009). Coelho Júnior et al. (2008) e Müller et al. (2011) mencionam que estes sistemas também constituem uma alternativa que minimizam os riscos de investimentos florestal e pecuário, pelo fato da madeira produzida no final do ciclo de cultivo ser potencial para o aumento da renda do produtor.

Espécies do gênero *Eucalyptus* são indicadas para composição de sistemas silvipastoris por apresentarem características como adaptação ao clima e solo local, rápido crescimento, capacidade de rebrota e densidade de copa que favorece a transmitância da radiação para estratos inferiores do sistema (LIMA, 1996; NOVAIS et al., 1996; COUTO et al., 1998; REIS & MAGALHÃES, 2006; OLIVEIRA et al., 2007; REIS et al., 2007; PACIULLO et al., 2011; XAVIER et al., 2013). Estas espécies também se destacam por apresentar práticas silviculturais validadas e disponibilidade de materiais genéticos oriundos de programas de melhoramento florestal (ALVES et al., 2015).

Para a implantação do componente arbóreo, além da escolha da espécie, a seleção do material genético (clones) é importante para o sucesso do sistema silvipastoril. Xavier et al. (2013) mencionam a necessidade do plantio de clones superiores para o aumento da rentabilidade no empreendimento, inclusive em pequenas e médias propriedades rurais. Porém, Oliveira Neto et al. (2010) citam que, em muitas ocasiões, não se tem informações necessárias a respeito do comportamento de clones em regiões específicas ou em relação ao seu uso em sistemas silvipastoris.

Na busca de maior rentabilidade, a silvicultura comercial objetiva cultivar espécies que geram produtos de valor elevado e altamente produtivos em determinado ambiente, levando em consideração as variações edafoclimáticas e de manejo. Fonseca et

al. (2010) e Dehon et al. (2013) destacam o sucesso das empresas do setor florestal brasileiro com os povoamentos clonais de híbridos de eucaliptos, e Griffin (2014) corrobora com a afirmação, salientando a tendência em assumir que o povoamento clonal é altamente viável, utilizando-se determinados materiais genéticos de eucalipto para diversos ambientes e objetivos de produção.

Usualmente, os clones de eucalipto selecionados nos programas de melhoramento de empresas são destinados principalmente para produção de celulose e papel e fins energéticos, sendo cultivados e avaliados em espaçamentos convencionais de monocultivo (VALVERDE et al., 2004; SUDARIC et al., 2005). No entanto, estudos realizados por Assis et al. (1996) e Rosado et al. (2012) revelam comportamento diferenciado de clones e suas características quando cultivados em condições edafoclimáticas, espaçamentos e tratos culturais distintos, o que pode ocorrer em sistemas silvipastoris, particularmente em condições de pequenas e médias propriedades rurais, influenciando na produtividade e qualidade da madeira.

Ao aumentar a densidade de plantio do componente arbóreo, cria-se maior competição entre as árvores, resultando em aumento no número de árvores com diâmetro reduzido (CLUTTER et al., 1983; LEITE et al., 2006, KRUSCHEWSKY et al., 2007). A baixa densidade de plantio de árvores dos sistemas silvipastoris favorece a associação entre as culturas (DUBÈ et al., 2002; PRASAD et al., 2010; OLIVEIRA NETO et al., 2010) e promove o aumento do diâmetro e volume individual das árvores, embora com redução no rendimento de madeira por área (PINKARD & NEILSEN, 2003; LEITE et al., 2006).

O arranjo espacial e o material genético são alguns dos principais fatores que influenciam a forma do fuste (afilamento) (CAMPOS & LEITE, 2013). Segundo Larson (1963), árvores tendem a possuir o fuste com formato mais cônico quando crescem em povoamentos menos adensados, o que está associado ao maior comprimento de copa. Os principais modelos de afilamento utilizados atualmente foram avaliados em povoamentos estabelecidos em monocultivo de eucalipto, indicando a necessidade de avaliação destes modelos em sistemas silvipastoris, onde os espaçamentos de plantio são mais amplos (MÜLLER et al, 2014).

Em povoamentos com espaçamentos mais adensados, onde há maior competição, as árvores apresentam copa menor e mais circular e fustes de formato mais cilíndrico, quando comparado às árvores conduzidas em maiores espaçamentos, como em sistemas silvipastoris. Essas características influenciam o rendimento em madeira serrada, produto

com maior valor agregado (NOGUEIRA et al., 2008; FERREIRA et al., 2014), e que tem despertado o interesse de silvicultores na Zona da Mata mineira.

Para recomendação de clones para determinado local ou região com características semelhantes, é necessária a avaliação da interação entre material genético e ambiente sob tratos culturais e arranjo espacial. Portanto, este trabalho teve como objetivo avaliar a distribuição diamétrica, o crescimento, a produção e modelos de afilamento do fuste dos clones de eucalipto GG100 e I144 cultivados em sistema silvipastoril, no município de Coronel Pacheco, MG.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO

O estudo foi realizado na Fazenda Triqueda, localizada no município de Coronel Pacheco, na Zona da Mata mineira, situado à latitude de 21°37'30" S e longitude de 43°17'21.81" W, a 652 m de altitude. O relevo da região se encontra sob domínio de mares de morros e o solo é do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo. Segundo Rezende & Resende (1996) e Abrahão et al. (2000), os solos nos mares de morros geralmente possuem baixa fertilidade natural, por serem bastante intemperizados, e baixa presença de minerais primários.

Segundo a classificação de Köppen o clima da região é do tipo Cwa (mesotérmico), definido como subtropical úmido e caracterizado por invernos secos e verões chuvosos. Sua vegetação característica, conforme descrito por Rizzini (1997), é do tipo Floresta Estacional Semidecidual, sob domínio da Mata Atlântica.

A precipitação média anual na região se mantém entorno de 1.500 mm e concentra-se entre os meses de outubro e abril, com temperaturas médias de 18°C de abril a setembro e de 22°C de outubro a março (PACIULLO et al., 2011; MÜLLER et al., 2011).

2.2. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA SILVIPASTORIL

O estudo foi realizado em um sistema silvipastoril com área de 8,5 hectares (ha), em relevo montanhoso com declividade média de 23%. As árvores estão dispostas em

linhas simples, plantadas no espaçamento 14,0 x 2,8 m (255 plantas por hectare) com as linhas seguindo a curva de nível do terreno (Figura 1).



Figura 1. Imagem aérea do sistema silvipastoril destacando os povoamentos dos clones de eucalipto GG100 e I144.

O componente arbóreo foi plantado em novembro de 2009, com dois híbridos (clones) comerciais de eucalipto resultantes do cruzamento genético entre as espécies *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis*, o clone GG100 (foi desenvolvido pela Gerdau S.A., e o clone I144, pela Arcelor Mittal (antiga Acesita)). A forrageira se encontrava estabelecida no local a cerca de 15 anos, com a espécie *Urochloa brizantha* (syn. *Brachiaria brizantha*). Não é feita a adubação e correção da acidez rotineira área de cultivo do capim-braquiária. O manejo da gado consistiu no pastejo de lotação intermitente por bovinos da raça Brangus, com taxa de lotação média de 1,5 UA.ha⁻¹.

Para o plantio das mudas de eucalipto foram feitas covas com dimensões de 30 cm de diâmetro por 30 cm de profundidade, utilizando motocoveador semimecanizado, com replantio 30 dias após o plantio, em linhas dessecadas com herbicida.

Na adubação de plantio foi aplicado por cova 700 g de calcário dolomítico, 350 g de fosfato reativo e 150 g de adubo formulado NPK 6-30-12 + 1% B (covetas laterais). Na adubação de cobertura foi aplicado 200 g de NPK 20-00-20 + 1% B por cova. Após seis meses do plantio, aplicou-se 300 g de NPK 00-00-51 + 1% B, e após 12 meses do plantio 300 g de NPK 20-00-20 + 1% B, por cova.

Foram realizadas desramas em dois momentos, aos 10 meses de idade, com remoção dos galhos de 30% da altura da copa viva, e aos 18 meses de idade, removendo os galhos até 7 metros de altura.

2.3. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E COLETA DE DADOS

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, com dois tratamentos (clones GG100 e I144), e seis repetições (parcelas). As medições do inventário florestal contínuo foram realizadas em seis ocasiões nas idades entre 21 e 79 meses. As cinco medições iniciais (21, 33, 45, 57 e 69 meses) foram baseados em parcelas de 10 árvores em uma linha do plantio, com área de 392 m². Na última, aos 79 meses, a parcela foi composta por 20 árvores dispostas em duas linhas de plantio (área de 784 m²). A taxa de sobrevivência foi calculada com os dados da última medição.

Utilizando fita métrica e hipsômetro *Forest Vertex IV (Haglöf Sweden AB, Långsele, Västernorrland, Sweden)* foram mensurados o diâmetro com casca, a 1,3 m do solo (*dap*), de todas as árvores das parcelas e a altura total (Ht) das 10 primeiras árvores, seguindo um caminhamento pré-estabelecido.

Para caracterização da distribuição diamétrica dos clones foram utilizadas as medidas de *dap*, considerando classes diamétricas de 2 cm de amplitude. A partir da distribuição diamétrica, realizou-se a cubagem rigorosa, aos 87 meses de idade, de 5 árvores por classe diamétrica.

Na cubagem rigorosa aplicou-se o método não destrutivo do Pentaprisma de Wheeler, sendo medidas 25 árvores do clone GG100 e 30 árvores do clone I144, considerados os diâmetros do fuste, com casca, nas seguintes alturas: 0, 0,3, 0,7, 1 e 1,3 m, e a partir desse ponto, de 1 em 1 metro.

2.4. DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA

Com base nos dados obtidos nas parcelas do inventário florestal, foi calculada a média diamétrica dos clones GG100 e I144 ao longo do período de estudo.

Foi aplicada a metodologia de diâmetro percentis para calcular e comparar a distribuição diamétrica dos povoamentos, aos 79 meses de idade. O uso de diâmetros percentis é muito empregado em florestas equiâneas por serem altamente correlacionados com características do povoamento, como idade, índice de local e diâmetro máximo (GLADE, 1986; CUNHA NETO et al., 1994; MAESTRI et al., 1995).

Os diâmetros percentis P₂₅, P₅₀ e P₇₅ foram adotados afim de se obter a distribuição dos diâmetros em quatro partes igual, também denominado quartil, visando representar e comparar o percentual de diâmetros inferiores, médios e superiores, respectivamente. Além destes, foi calculado o diâmetro percentil P₆₃.

Segundo Campos & Leite (2013), o percentil P_{63} possui estreita relação com o parâmetro de escala (β) da distribuição Weibull, representando o ponto de inflexão da curva, seus valores variam entre zero e o limite de $I = (1-1/e) = 0,63$.

2.5. CAPACIDADE PRODUTIVA

Para calcular a capacidade produtiva foram utilizados os dados de *dap*, coletados nas parcelas do inventário florestal no período de 21 a 79 meses de idade do povoamento, e calculado o diâmetro dominante das parcelas. O diâmetro dominante (*dap_d*) é definido como a média aritmética dos cinco maiores diâmetros das árvores de cada parcela.

A capacidade produtiva foi determinada pelo ajuste do modelo sigmoidal Logística (Equação 1), com idade-índice de 60 meses. Foram construídas curvas de índice de local para os povoamentos dos clones GG100 e I144.

$$y = \beta_0 \cdot (1 + e^{(\beta_1 - \beta_2 \cdot I)})^{-1} + \varepsilon \quad (1)$$

Em que:

y = variável em estudo;

β_i = parâmetros;

e = exponencial;

I = idade em meses; e

ε = erro aleatório, $\varepsilon \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$.

Foi utilizado teste t de Student, a 5% de probabilidade, para comparar as médias dos diâmetros dominantes dos clones. Para o processamento dos dados foi utilizado o *software STATISTICA 13.0*.

2.6. PRODUÇÃO VOLUMÉTRICA

A expressão de Smalian (HUSCH et al., 2003) (Equação 2) foi aplicada de forma sucessiva nos valores obtidos na cubagem rigorosa para calcular o volume do fuste até o diâmetro de 5 cm (diâmetro-limite).

$$V = \frac{AS_1 + AS_2}{2} \times L \quad (2)$$

Em que:

V = volume com casca da seção, m^3 ;

AS_1 = área seccional do início da seção, m^2 ;

AS_2 = área seccional do final da seção, m^2 ; e

L = comprimento da seção, m.

Para estimar as alturas das árvores que não foram medidas, utilizou-se a equação hipsométrica referente ao modelo proposto por Campos et al. (1984) (Equação 3).

$$\text{LnHt} = \beta_0 + (\beta_1 \cdot \text{dap}^{-1}) + \beta_2 \cdot \text{LnHd} \quad (3)$$

Em que:

H_t = altura total, m;

L_n = logaritmo neperiano;

β_i = parâmetros;

dap = diâmetro a 1,3 m de altura, cm;

H_d = altura dominante, m; e

ε = erro aleatório, $\varepsilon \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$.

Em seguida, foram ajustadas equações de volume a partir dos modelos propostos por Schumacher & Hall (1933) (Equação 4) e Spurr (1952) (Equação 5).

$$\text{LnV} = \beta_0 + \beta_1 \text{Lndap} + \beta_2 \text{LnHt} + \varepsilon \quad (4)$$

$$V = \beta_0 \cdot (\text{dap} \cdot H_t)^{\beta_1} + \varepsilon \quad (5)$$

Em que:

V = volume, m^3 ;

β_i = parâmetros;

dap = diâmetro a 1,3 m de altura, cm;

H_t = altura total ou comercial, m; e

ε = erro aleatório, $\varepsilon \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$.

Foram empregados os testes estatísticos coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de determinação ajustado (\bar{R}^2) e erro-padrão residual (S_{yx}), através das Equações 6, 7 e 8, respectivamente, e gerado o gráfico de dispersão dos resíduos (erro percentual), para análise das equações ajustadas.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}_i)^2} \quad (6)$$

$$\bar{R}^2 = 100[1 - (n - 1/n - p - 1)(1 - R^2)] \quad (7)$$

$$S_{yx} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y - \hat{Y})^2 / (n - k)} \quad (8)$$

Em que:

Y = valor observado;

\bar{Y} = valor observado médio;

\hat{Y} = valor estimado;

p = número de variáveis independentes;

n = número de observações; e

k = número de parâmetros do modelo.

Foi aplicado o teste de identidade de modelos descrito por Graybill (1976), e demonstrado por Regazzi (1993), que permite verificar a igualdade de parâmetros das equações para avaliar a necessidade de uso de ajustes de modelos específicos por clone. A hipótese de nulidade (H_0) foi que não existe diferença significativa entre uma equação geral e equações específicas. Para o processamento dos dados foi utilizado o *software STATISTICA 13.0*.

2.7. AFILAMENTO DO FUSTE

O termo afilamento, ou *taper*, é aplicado para expressar a taxa de decréscimo do diâmetro ao longo do perfil do fuste. Para avaliar o perfil do fuste, a partir dos dados agrupados da cubagem rigorosa, foram ajustadas equações referentes aos seguintes modelos de afilamento:

$$\text{Kozak (1969)} \quad \left(\frac{d}{dap} \right)^2 = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h}{Ht} \right) + \beta_2 \left(\frac{h}{Ht} \right)^2 + \varepsilon$$

$$\text{Garay (1979)} \quad \frac{d}{dap} = \beta_0 \left[1 + \beta_1 \cdot \text{Ln} \left(1 - \beta_2 \cdot h^{\beta_3} \cdot Ht^{-\beta_3} \right) \right] + \varepsilon$$

$$\text{Demaerschalk (1972)} \quad \left(\frac{d}{dap} \right)^2 = 10^{2\beta_0} dap^{(2\beta_1-2)} L^{2\beta_2} Ht^{2\beta_3} + \varepsilon$$

Ormerod (1973)

$$\left(\frac{d}{dap}\right)^2 = \left[\frac{h - Ht}{Ht - 1,30}\right]^{2\beta_i} + \varepsilon$$

Em que:

d = diâmetro na altura h ;

dap = diâmetro a 1,3 m de altura, cm;

L_n = logaritmo neperiano;

h = distância do solo até o ponto onde o diâmetro d é considerado;

Ht = altura total;

L = distância entre altura total e “ h ”;

β_i = parâmetros; e

ε = erro aleatório, $\varepsilon \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$.

Para avaliação do modelo foram aplicados os seguintes testes estatísticos: correlação entre diâmetros estimados e observados ($R_{\hat{y}y}$), raiz quadrada do erro quadrático médio (RQEM) e *bias*.

$$R_{\hat{y}y} = \sqrt{1 - \frac{SQ_{Residuo}}{SQ_{Total}}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

$$RQEM = \sqrt{n^{-1} \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)^2}$$

$$bias = n^{-1} \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)$$

Em que:

n = número de observações;

Y = valor observado;

\hat{Y} = valor estimado;

\bar{Y} = valor observado médio.

Segundo Campos & Leite (2013), a precisão da estimativa depende da correlação entre os diâmetros observados e estimados, que mede o grau de associação entre as variáveis, juntamente com a análise de resíduos. A diferença quadrática média entre os valores observados e estimados é avaliada pela raiz do erro quadrático médio (REQM), e quanto menor o seu valor, melhor a precisão da estimativa (MEHTÄTALO et al., 2006; VENDRUSCOLO et al., 2016).

Determinado o melhor modelo, aplicou-se o teste de identidade de modelos proposto por Graybill (1976), afim de comparar os modelos ajustados individualmente dos clones com um ajuste geral, conforme foi aplicado para produção volumétrica. Em seguida, comparou-se os tratamentos para verificar a diferença entre as equações e, conseqüentemente, entre o afilamento dos fustes entre os clones avaliados. Foi utilizado o software *STATISTICA 13.0* para o processamento dos dados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. SOBREVIVÊNCIA E DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA

Os clones GG100 e I144 tiveram taxas de sobrevivência de 99,6% e 99,2%, respectivamente, indicando elevado potencial de adaptação ao ambiente e manejo aos quais foram cultivados.

A média dos *dap*'s dos dois clones são apresentados na Figura 2.

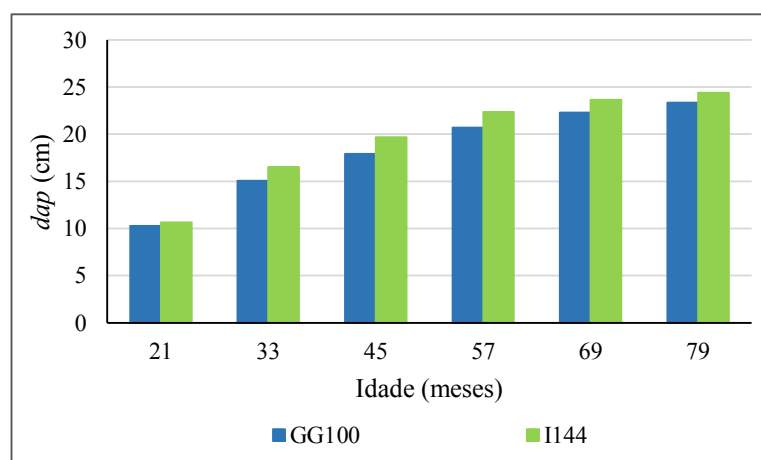


Figura 2. Média dos diâmetros dos clones GG100 e I144 em diferentes idades cultivados em sistema silvipastoril, em Coronel Pacheco, MG.

A média diamétrica observada aos 21 meses de idade para o clone I144 foi de 10,6 cm e para o clone GG100 foi de 10,3 cm. Aos 79 meses de idade a média dos diâmetros dos clones I144 e GG100 alcançaram 24,4 e 23,3 cm, respectivamente. O clone I144 foi superior ao GG100 em todas as avaliações, em média, em 7%.

A estrutura diamétrica de um povoamento permite caracterizar o estoque de madeira disponível num dado momento ou projetá-lo através do tempo (SCOLFORO et al., 1998; PULZ et al., 1999). Segundo Bartoszeck et al. (2004), analisando a estrutura

diamétrica é possível avaliar o comportamento da espécie ou material genético em relação aos fatores que interferem no crescimento.

Cipriani et al. (2013) estudaram os clones GG100 e I144, cultivados em teste clonal de eucalipto com outros materiais genéticos (GG702 e H13), no espaçamento 3 x 3 m, aos 25 e 37 meses de idade, no município de Vilhena, RO. Na avaliação diamétrica dos dois momentos, os clones GG100 e I144 superaram os demais e o I144 apresentou os maiores diâmetros. Aos 37 meses o *dap* médio do clone I144 foi de 13,6 cm, enquanto o *dap* médio para o clone no presente estudo foi 16,5, aos 33 meses, ressaltando seu maior crescimento diamétrico.

Os diâmetros percentis relativos aos povoamentos dos clones do presente estudo são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Diâmetros percentis dos clones GG100 e I144, aos 79 meses de idade, em sistema silvipastoril, em Coronel Pacheco, MG

Clone	Diâmetro percentil (cm)			
	P ₂₅	P ₅₀	P ₆₃	P ₇₅
GG100	14,9	19,2	20,8	22,0
I144	15,7	20,1	21,8	23,4

Para a interpretação dos percentis, deve-se analisar que o percentil P₅₀ do clone GG100, indica que 50% das árvores deste clone possuem diâmetro menor ou igual a 19,2 cm. Isto não significa, porém, que 50% do volume do povoamento está contido até este diâmetro.

Para o percentil P₇₅, 75% das árvores do clone I144 possuem diâmetros menores ou iguais a 23,4 cm, enquanto para o clone GG100 o diâmetro limite é de 22,0 cm. Isto representa superioridade de 6,2% no diâmetro do clone I144 para o determinado percentil.

Esta função, descrita originalmente por Weibull (1951), têm sido amplamente difundida e utilizada na área florestal (CLUTTER & ALLISON, 1974; HAFLEY & SCHREUDER, 1977; MATNEY & SULLIVAN, 1982; NOGUEIRA et al., 2001, 2005). Em estudo comparativo realizado por Jorge et al. (1990), concluiu-se que o ajuste pelo método da máxima verossimilhança da função Weibull e dos percentis produziram resultados semelhantes, com destaque para o segundo método devido sua simplicidade.

No ponto de inflexão ocorre a mudança de concavidade da curva e a taxa de crescimento atinge seu máximo, a partir deste ponto a taxa de crescimento reduz até se estabilizar. Os clones GG100 e I144 atingem período de máximo crescimento quando os diâmetros são de 20,8 e 21,8, respectivamente.

Devido à simplicidade de ajuste do modelo, recomenda-se o emprego dos diâmetros percentis no manejo de povoamentos de eucalipto não desbastados (SOARES et al., 2007) e na seleção de árvores para aplicação de desbastes seletivos, de acordo o determinado peso do desbaste. Segundo Campos et al. (1997), quando associados às tabelas do modelo de Clutter, os modelos de diâmetros percentis possibilita medir o volume do povoamento de forma segmentada até cada um dos diâmetros percentis previstos, assim como, entre eles.

Em todos o percentis analisados, o clone I144 apresenta diâmetros superiores ao GG100, havendo ainda a tendência de aumento da diferença dos diâmetros com o aumento do valor do percentil. Por estarem inseridos no mesmo local e sob o mesmo manejo, a variação no crescimento em diâmetro dos clones é atribuída à variação genética de cada híbrido (LIN et al., 2013).

Portanto, o clone I144 se mostrou o material genético mais produtivo quanto ao diâmetro do fuste em comparativo ao GG100 para o sistema silvipastoril estudado, indicando maior potencial de produção de madeira para serraria. Todavia, segundo Murara Junior et al. (2005), além do diâmetro das toras, a qualidade da madeira e as técnicas de desdobro são os principais fatores que afetam o rendimento em madeira serrada.

3.2.CAPACIDADE PRODUTIVA

Os parâmetros estimados para o modelo Logística e testes estatísticos de precisão e exatidão para os clones GG100 e I144 estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros estimados para o modelo sigmoidal Logística, erro-padrão residual ($S_{y.x}$) e coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado) por clone de eucalipto em sistema silvipastoril, em Coronel Pacheco, MG

Clone	β_0	β_1	β_2	$S_{y.x}$	R^2 ajust
GG100	25,3259	4,0385	0,0552	1,2216	0,9665
I144	26,1710	5,1605	0,0662	0,9615	0,9830

Houve bom ajuste para os dois materiais genéticos modelados. O erro-padrão residual ($S_{y.x}$), que explica a dispersão dos dados entorno da equação ajustada foi considerado baixo para os dois clones. O coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajust) apresentou valores altos para os dois clones, indicando que a variação no dap_d pode ser

explicado em razão da variação de idade em 96,65% e 98,30%, para os clones GG100 e I144, respectivamente.

A capacidade produtiva de um local demonstra o potencial do mesmo para produzir madeira diante de suas condições ambientais específicas e técnicas silviculturais adotadas. A interação entre esses fatores com o material genético indicará a capacidade produtiva do clone para o local (CAMPOS & LEITE, 2013), a qual é obtida pelo estudo de um indicador.

Em povoamentos adensados, geralmente não se utiliza a diâmetro como indicador para a classificação produtiva por ser muito afetado pela competição entre indivíduos. Porém, em povoamentos onde há baixa mortalidade regular, como ocorre no sistema silvipastoril em estudo, o dap pode ser utilizado como indicador para a classificação da capacidade produtiva sem haver inconsistências por meio dessa variável (AVERY & BURKHART, 1994).

A Figura 3 apresenta as curvas de crescimentos dos clones estudados, construídas a partir do diâmetro dominante (dap_d) entre os valores de dap observados. A capacidade produtiva é representada por feixes de curvas polimórficas, geradas a partir de dados provenientes de parcelas permanentes.

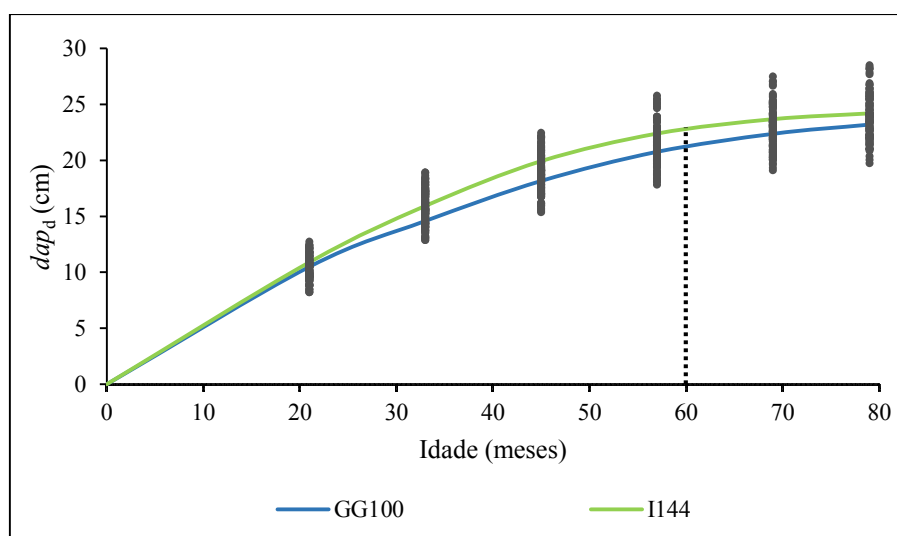


Figura 3. Dados observados e curvas de crescimento em diâmetro dominante (dap_d) para os clones de eucalipto GG100 e I144, em sistema silvipastoril, em Coronel Pacheco, MG.

Observa-se que as curvas geradas pelo modelo descreveram com fidelidade as tendências de crescimento dos clones de eucalipto no sistema silvipastoril, pois possuem valores estimados próximos à média dos valores observados. Com o uso da variável dap_d ,

a curva de crescimento não atingiu precocemente o valor assintótico, que indica a estagnação do crescimento do povoamento.

Leite et al. (2011), ao avaliarem o uso da variável dap_d para classificação da capacidade produtiva comparativamente às estimativas de altura dominante (Hd), em povoamentos de clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, com espaçamento de 3 x 3 m, na região de Santa Bárbara, MG, concluíram que as medidas de precisão do dap_d ajustaram-se bem aos dados, indicando a possibilidade de sua utilização para fins de classificação da capacidade produtiva.

De acordo com a análise estatística, o clone I144 apresentou maiores diâmetros dominantes médios que o GG100. Em idades iniciais o crescimento dos clones se mostraram muito próximos, porém o I144 se sobressaiu em idades mais avançadas. A maior diferença entre as curvas, de aproximadamente 10%, é observada próximo aos 45 meses de idade. Na idade-índice, aos 60 meses, os diâmetros dominantes médios das árvores dos clones GG100 e I144 foram de 21,2 cm e 22,8 cm, respectivamente.

3.3.PRODUÇÃO VOLUMÉTRICA

O teste F (F_{H_0}) de Graybill (1976), utilizado para avaliar a necessidade de ajustes de modelos específicos por clone, apresentado na Tabela 3, foi significativo para os ajustes do modelo volumétrico e não significativo para os ajustes do modelo hipsométrico.

Tabela 3. Teste F (F_{H_0}) de Graybill (1976) referente aos ajustes dos modelos hipsométrico e volumétrico, para clones de eucalipto em sistema silvipastoril, em Coronel Pacheco, MG

F(H_0)	
Modelo Hipsométrico	Modelo Volumétrico
1,0055 ^{ns}	326,4400 *

Na Tabela 4 são apresentados os parâmetros e testes estatísticos para a equação hipsométrica única para os dois clones, gerada a partir do modelo de Campos et al. (1984).

Tabela 4. Estimativas dos parâmetros e resultado das estatísticas erro padrão, P-valor, erro-padrão residual ($S_{y.x}$) e coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajust) para o modelo de Campos et al. (1984) para clones de eucalipto em sistema silvipastoril, em Coronel Pacheco, MG

Clone	Parâmetros	Estimativas	Erro-padrão	P-valor	$S_{y.x}$	R^2 ajust
	β_0	1,5875	0,2050	<0,05		
GG100 e I144	β_1	-7,2627	0,8988	<0,05	0,9331	69,15
	β_2	0,6191	0,0560	<0,05		

O erro-padrão residual ($S_{y.x}$) indica que a dispersão dos dados em torno da regressão ajustada é de 0,9331 metros, valor considerado baixo, e o coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajust) que 69,15% da variação na altura pode ser explicada pela variação no *dap*.

Segundo Bernardo et al. (1998), o crescimento em diâmetro pode ser correlacionado com o aumento do espaçamento, porém a relação direta não se aplica para a variável altura. Oliveira et al. (2009) observaram maiores alturas em sistemas agrossilvipastoris com espaçamentos mais adensados, relatando que o comportamento em altura não reflete o crescimento em diâmetro.

Barros et al. (2004) e Machado et al. (2011) observaram alteração da relação hipsométrica em cultivos de *Pinus oocarpa* após sucessivos desbastes, culminando na redução gradativa do R^2 . O arranjo espacial do povoamento de pinus desbastado se assemelha ao de sistemas silvipastoris e expressa a baixa correlação entre as variáveis altura e *dap*.

O gráfico de resíduos da equação hipsométrica para os clones GG100 e I144 é apresentado na Figura 4.

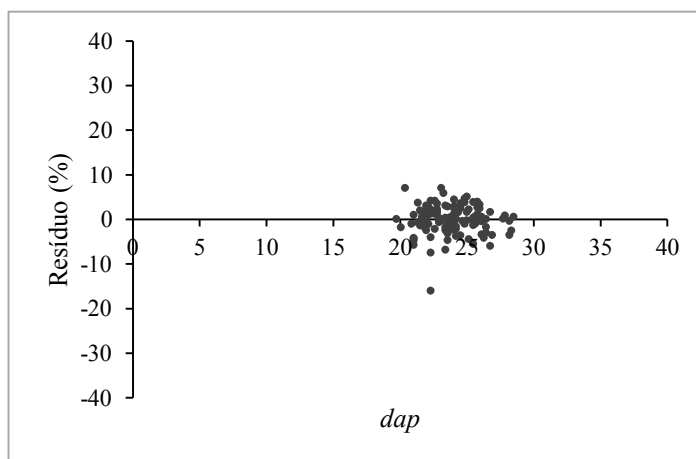


Figura 4. Gráfico de resíduo para a equação hipsométrica para os clones GG100 e I144 de eucalipto em sistema silvipastoril, em Coronel Pacheco, MG.

Pela análise gráfica observa-se um bom ajuste do modelo aos dados observados, pois o padrão de distribuição dos dados mantém a variação uniforme ao longo do eixo horizontal, além de não ocorrerem tendências indesejáveis (superestimação ou subestimação) e presença de dados discrepantes.

Como o teste F (FH_0) de Graybill foi significativo para os ajustes do modelo volumétrico, foram ajustadas equações individuais para os clones GG100 e I144. Na Tabela 5 são apresentados os parâmetros e estatísticas para os modelos de Schumacher & Hall e Spurr. Segundo Campos & Leite (2009), estes modelos são bastante aplicados em estudos com *Eucalyptus*, sendo que o modelo de Schumacher & Hall geralmente apresenta melhores ajustes com estimativas não tendenciosas, e o modelo de Spurr possui maior facilidade do ajuste aos dados.

Tabela 5. Estimativas dos parâmetros e resultado das estatísticas erro padrão, P-valor, erro-padrão residual ($S_{y.x}$) e coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajust) dos modelos de Schumacher & Hall e Spurr para os clones GG100 e I144 em sistema silvipastoril, em Coronel Pacheco, MG

Modelo	Clone	Parâmetros	Estimativas	Erro padrão	P-valor	$S_{y.x}$	R^2 ajust
Schumacher & Hall	GG100	β_0	-5,5535	1,2963	<0,05	0,0565	77,32
		β_1	2,1473	0,2449	<0,05		
		β_2	-0,5319	0,4369	0,238		
	I144	β_0	-6,9766	0,6003	<0,05	0,0552	92,80
		β_1	2,2213	0,1824	<0,05		
		β_2	-0,1922	0,2204	0,393		
Spurr	GG100	β_0	-8,2945	1,0366	<0,05	0,0624	72,42
		β_1	0,7927	0,1054	<0,05		
	I144	β_0	-9,0745	0,9504	<0,05	0,0803	81,12
		β_1	0,8628	0,0941	<0,05		

Os dois modelos apresentaram ter qualidade de ajuste semelhantes, com altos coeficientes de determinação ajustados e baixo erro-padrão residual.

Contudo, no modelo de Schumacher & Hall foram observados sinais negativos na estimativa do parâmetro β_2 para ambos os clones, indicando inconsistência na estimação destes coeficientes, uma vez que a altura apresenta correlação positiva com o volume da árvore. Do mesmo modo, o P-valor, definido como o menor nível de significância ao qual a hipótese nula pode ser rejeitada (GUJARATI & PORTER, 1999), não foi significativo para o parâmetro, sugerindo haver variação aleatória na relação entre as variáveis (*dap* e

Ht) nas estimativas de valores a partir do modelo. Assim, o modelo proposto por Spurr foi adotado para estimar o volume de madeira dos clones.

Os gráficos de resíduo da equação volumétrica ajustada pelo modelo de Spurr para os clones GG100 e I144 são apresentados na Figura 5.

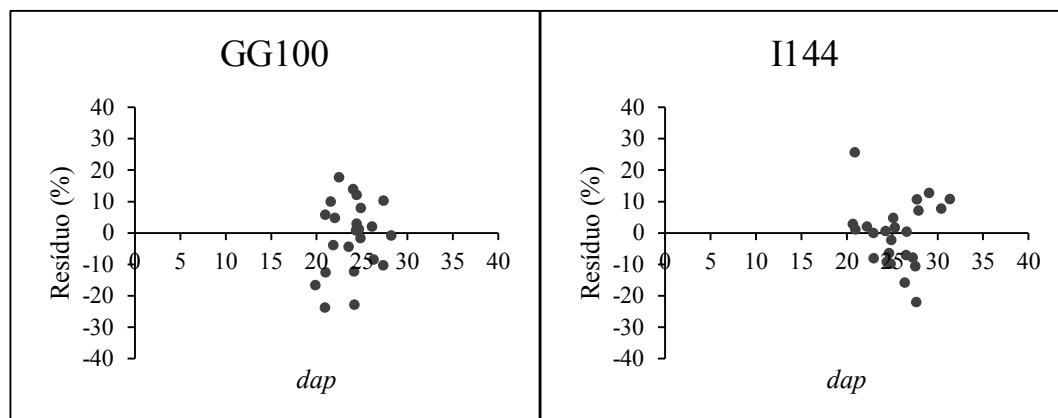


Figura 5. Gráficos de resíduo das equações volumétricas para os clones de eucalipto em sistema silvipastoril, em Coronel Pacheco, MG.

Os valores de volume de madeira e incremento médio anual (IMA) (Tabela 6), avaliados aos 79 meses de idade, não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre clones. Todavia, o clone I144 apresentou valores de volume e IMA 6,34% superior ao clone GG100, o que em termos práticos é uma superioridade que deve ser considerada na escolha do material genético.

Tabela 6. Volume e produtividade (IMA) dos clones de eucalipto em sistema silvipastoril, aos 79 meses de idade, em Coronel Pacheco, MG

Clone	Volume (m ³ ha ⁻¹)	IMA (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)
GG100	134,3 ^a	20,4 ^a
I144	142,8 ^a	21,6 ^a

Médias na mesma coluna, seguidas por letra iguais não diferenciam entre si ($p < 0,05$), pelo teste F de Graybill (1976).

Ao avaliar o clone GG100 em sistema silvipastoril, com espaçamentos menores ao adotado no presente estudo, nas cidades de Cajuri (11 x 3 m), Coimbra (12 x 3 m) e Visconde do Rio Branco (10 x 3 m), em Minas Gerais, Silva (2016) observou valores de IMA de 21,2, 22,2 e 23,9 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente. O clone GG100, avaliado sob as condições específicas de cada local, apresentou valores de IMA próximos ao apresentado no presente estudo.

Em estudo realizado por Oliveira et al. (2009), em sistema agrossilvipastoril com um híbrido de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus urophylla*, em espaçamento 10 x 4 m (250 plantas por hectare), na região do cerrado, apresentou volume de 95,8 m³ ha⁻¹ e IMA de 17,1 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, aos 61 meses de idade. O número de árvores por hectare é próximo ao do presente estudo, porém a idade precoce do plantio, a diferença entre materiais genéticos e as condições edáficas e climáticas distintas entre os locais estudados possivelmente determinaram a baixa produtividade em relação a este estudo em Coronel Pacheco, na Zona da Mata mineira.

Em estudo realizado em Vazante, no cerrado de Minas Gerais, Paula et al. (2013) avaliaram um sistema silvipastoril composto por *Eucalyptus camaldulensis* cultivado no espaçamento 9 x 3 m, em consórcio com *Urochloa brizantha*. Aos 54 meses de idade, a produção do eucalipto foi de 100 m³ ha⁻¹ e IMA de 22 m³ ha⁻¹ ano⁻¹. Apesar de mais jovem, o sistema silvipastoril em Vazante apresenta resultados próximos do presente estudo, porém, com 45% a mais de árvores por hectare.

Matias (2016) avaliou os clones GG100 e I144 em sistemas silvipastoris em três arranjos espaciais (3 x 2) + 20 m e (2 x 2) + 9 m, em linhas duplas, e 9 x 2 m, em linha simples, no município de Prudente de Moraes, na região central de Minas Gerais. Os IMA's dos clones I144 e GG100, aos 72 meses de idade, foram de 27,8 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ e 24,7 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente, com o clone I144 apresentando produtividade 12,9% superior ao GG100. Este resultado, corrobora com a produtividade superior do clone I144 no presente estudo.

3.4.AFILAMENTO DO FUSTE

Na Tabela 7 estão apresentados os parâmetros e as estatísticas de precisão e exatidão das equações de afilamento ajustadas aos dados agrupados dos clones GG100 e I144, aos 87 meses de idade, visando para a escolha do modelo mais adequado.

Tabela 7. Estimativas dos parâmetros e resultados das estatísticas soma de quadrados de resíduos (SQRes), coeficiente de correlação ($R_{\hat{y}y}$), bias, média das diferenças absolutas (MDA) e raiz quadrada do erro médio (RQEM) das equações de afilamento ajustadas aos dados agrupados dos clones de eucalipto em sistema silvipastoril, em Coronel Pacheco, MG

Modelo	Estimativas dos Parâmetros				SQRes	$R_{\hat{y}y}$	Bias (d)	MDA (d)	RQEM (d)
	β_0	β_1	β_2	β_3					
Demaerschalk	0,4972	1,0516	-1,0502	0,8749	1480,05	0,9790	0,1840	1,3634	1,7742
Kozak	1,2749	-4,7156	5,1939		1359,61	0,9807	0,4845	1,4281	1,8274
Ormerod	1,2000	1,6471		0,5000	1673,86	0,9762	0,0336	1,4042	1,9168
Garay	1,2706	1,5630	0,4808	0,4276	833,27	0,9882	0,5237	1,1204	1,4583

Segundo Campos & Leite (2013), os modelos de afilamento propostos por Demaerschalk (1972), Kozak (1969), Ormerod (1975) e Garay (1979) se ajustam bem às espécies de eucalipto e são capazes de modelar todo o fuste a partir de uma única expressão. Ao observar o coeficiente de correlação ($R_{\hat{y}y}$) entre os valores estimados (\hat{Y}_i) e observados (Y_i), todos os modelos apresentaram valores elevados, indicando associação forte e positiva entre os diâmetros estimados e observados.

A menor medida de exatidão *bias*, que expressa o erro sistemático ou tendenciosidade, foi observada no modelo de Ormerod. Porém, os valores da soma de quadrados de resíduos (SQRes), que calcula a parte que não é explicada pelo modelo, média das diferenças absolutas (MDA) e raiz quadrada do erro médio (RQEM), que demonstram o nível de precisão do modelo, foram menores para o modelo de Garay em relação aos demais modelos estudados.

Assim como os testes estatísticos, a análise gráfica é um indicativo importante para a seleção do modelo de afilamento do fuste mais adequado. Os gráficos dos perfis médios das árvores e da relação entre diâmetros estimados e observados são apresentados nas Figuras 6 e 7, respectivamente, segundo os modelos avaliados.

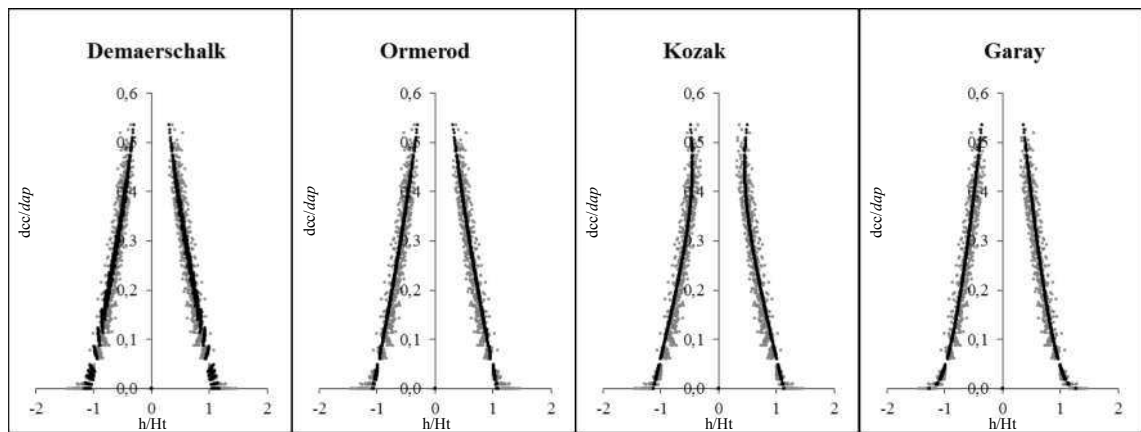


Figura 6. Perfis médios do fuste das árvores-amostra com dados de dcc/dap observados e estimados em função de h/Ht dos clones de eucalipto em sistema silvipastoril, em Coronel Pacheco, MG.

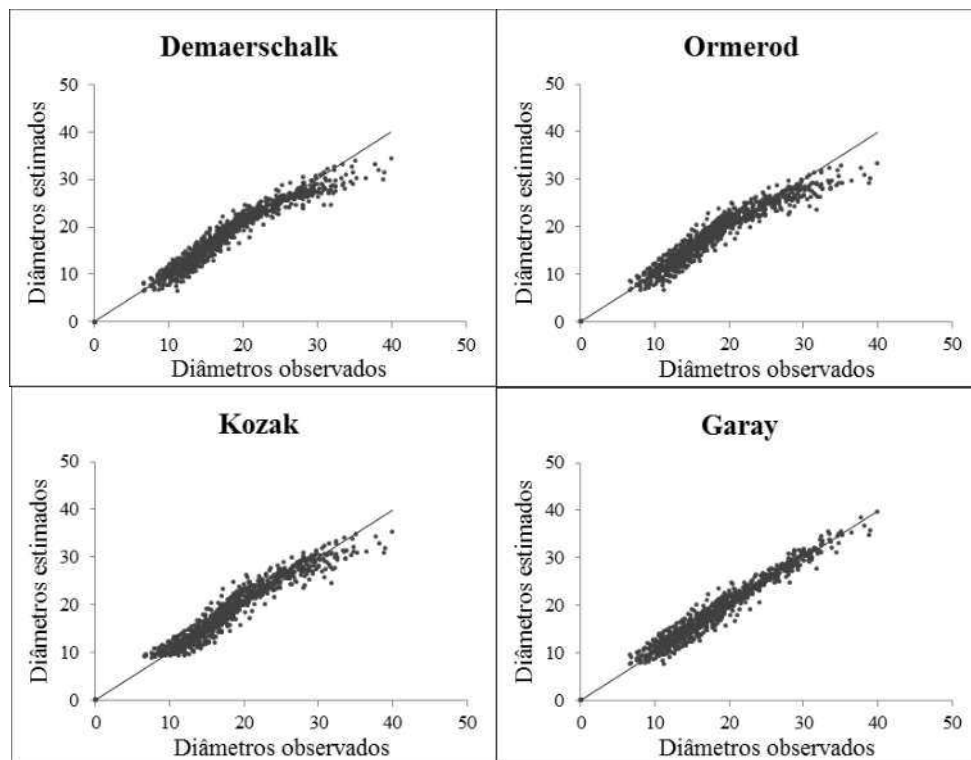


Figura 7. Relação entre diâmetros estimados e observados das equações ajustadas para os quatro modelos de afilamento do fuste ajustados para os clones de eucalipto em sistema silvipastoril, em Coronel Pacheco, MG.

A partir da análise da Figura 6, verifica-se que o modelo de Kozak possui inconsistência biológica nos valores do diâmetro em alturas superiores. Analisando a relação entre os diâmetros estimados e observados (Figura 7), observa-se que os modelos de Demaerschalk, Ormerod e Kozak apresentaram tendenciosidade para os dados

observados, porém o modelo de Garay manteve a distribuição dos pontos plotados no gráfico mais próximos da linha de inclinação de 45°.

Assim, foi adotado o modelo proposto por Garay, pois a equação ajustada indicou estimativas consistentes das variáveis diâmetro e altura e, pela análise gráfica, observou-se que o comportamento dos valores estimados segue os valores observados.

Na Tabela 8 são apresentadas as estimativas dos parâmetros e testes estatísticos referentes ao modelo de Garay.

Tabela 8. Estimativas dos parâmetros e resultados das estatísticas soma de quadrados de resíduos (SQRes), coeficiente de correlação ($R_{\hat{y}y}$), bias, média das diferenças absolutas (MDA) e raiz quadrada do erro médio (RQEM) da equação referente ao modelo de Garay (1979) ajustado, por clone de eucalipto, em sistema silvipastoril, em Coronel Pacheco, MG

Clone	Estimativas dos Parâmetros				SQRes	$R_{\hat{y}y}$	Bias (d)	MDA (d)	RQEM (d)
	β_0	β_1	β_2	β_3					
GG100	1,2777	1,3685	0,5305	0,4135	707,19	0,9788	0,0008	0,9883	1,3070
I144	1,2430	2,6631	0,3135	0,4271	595,82	0,9839	-0,0381	0,8949	1,1744

Como um dos modelos de afilamento mais difundidos, o modelo de Garay vem sendo utilizado em diversos estudos de afilamento de espécies arbóreas (SOUZA, 2009; SILVEIRA et al. 2011; SOUZA et al. 2016). Segundo Souza et al. (2016), este modelo apresenta tendências comprovadas e fidedignas à realidade biológica para predição da forma dos fustes. Leite et al. (2006) mencionam que este modelo é flexível e capaz de descrever as variações de forma em árvores de diferentes espécies e consistente em relação às variáveis de diâmetro comercial, altura e volume. E complementam, relatando que o próprio Garay (1979) demonstrou a eficiência do modelo para diversas espécies.

Silveira et al. (2011) utilizaram modelos de afilamento para classificação de árvores de *Eucalyptus camaldulensis* em sistemas agroflorestais visando seu uso para postes, com destaque para o modelo de Garay.

O modelo de Garay também foi eficiente em estudos desenvolvidos por Souza et. al (2008), que avaliaram modelos de afilamento na estimação de altura e volume comercial em *Eucalyptus* sp. cultivados em monocultivo no sul da Bahia, e Müller et al. (2014), avaliando o afilamento do fuste de eucalipto e acácia em sistema silvipastoril na Zona da Mata mineira.

Definido o modelo de Garay como mais adequado, aplicou-se o teste de identidade de modelos de Graybill ($p < 0,05$) afim de testar se as equações de regressão referentes

aos clones eram idênticas. A hipótese de nulidade foi rejeitada, indicando que as equações diferiam entre si, ou seja, existe diferença significativa nos perfis dos fustes dos clones GG100 e I144. Os perfis médios dos clones estão apresentados na Figura 8.

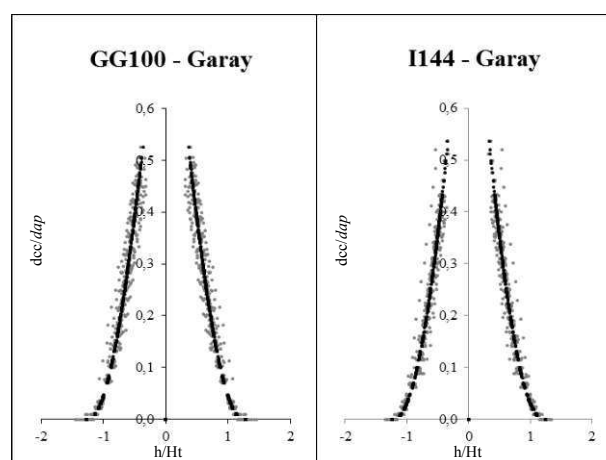


Figura 8. Perfis médios estatisticamente diferentes pelo teste de identidade de modelos de Graybill (1976), a $p < 0,05$, do fuste das árvores-amostra com dados de dcc/dap observados e estimados em função de h/Ht pelo modelo de Garay dos clones de eucalipto em sistema silvipastoril, em Coronel Pacheco, MG.

Embora não seja de clara percepção visual na análise gráfica, o teste de identidade de modelos de Graybill ($p < 0,05$) indicou diferença estatística entre o perfil médio do fuste dos clones, sendo o clone GG100 com a forma do fuste mais cônica em relação ao I144. No momento das avaliações, a madeira do clone I144 pode apresentar maior valor para serraria e, ou, poste por ter o fuste mais cilíndrico em relação ao GG100.

É esperado que as árvores presentes em sistemas silvipastoris apresentem fustes mais cônicos quando comparadas a povoamentos em monocultivo, com espaçamentos convencionais de plantio (BALDWIN et al., 2000; BERGER et al., 2002; NOGUEIRA et al., 2008). Schneider & Schneider (2008) observaram que árvores plantadas em espaçamentos reduzidos depositam maior taxa de fotoassimilados nas regiões superiores do tronco, como reação à baixa disponibilidade de radiação solar e outros recursos de crescimento provocado pelo aumento da competição entre indivíduos, levando as árvores a adquirir formato mais cilíndrico do tronco.

A avaliação do afilamento foi realizada aos 87 meses de idade, porém, Nassur et al. (2013) relatam que a idade ideal para a comparação e seleção de materiais genéticos, visando a melhor forma do fuste para o desdobro, deve ser superior a 18 anos. O rendimento da madeira serrada está relacionado com as características da matéria-prima

utilizada, e a forma do fuste é fator importante a se considerar para o processamento da tora (NASSUR et al., 2013).

Segundo Scanavaca Júnior & Garcia (2003), árvores de *Eucalyptus urophylla* são mais cônicas enquanto jovens e se tornam mais cilíndrica com o aumento da idade. O rendimento no desdobro da madeira aumenta quanto mais cilíndrico for o perfil de seu fuste, sendo o aumento da conicidade indesejado para o processo, podendo inclusive torná-lo antieconômico.

4. CONCLUSÕES

- O clone I144 apresentou maior potencial silvicultural em função de maior diâmetro, menor conicidade do tronco e maior capacidade produtiva, em comparação ao clone GG100;
- O modelo proposto por Garay (1979) foi o mais eficiente para avaliar o afilamento do fuste de clones dos eucaliptos nestas condições de estudo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAHÃO, W.A.P.; FERNANDES FILHO, E.I.; MIRANDA, L.H.F.; RAMILO, G.A.I. **Levantamento de solos e aptidão agrícola das terras do município de Ubá, MG.** Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa/IEF/Prefeitura de Ubá, 136p., 2000.
- ALVES, F.V.; LAURA, V.A.; ALMEIDA, R.G. Sistemas agroflorestais: a agropecuária sustentável. **Embrapa Gado de Corte - Livro técnico.** Brasília: Embrapa, 208p., 2015.
- ASSIS, T.F.; ABAD, J.I.M.; AGUIAR, A.M. Melhoramento genético do eucalipto. **Informe Agropecuário**, v. 18, n. 185, p. 32 - 51, 1996.
- AVERY, T.E.; BURKHART, H.E. **Forest measurements.** 4. ed., New York: McGraw-Hill Book Co, 408 p., 1994.
- BALDWIN, V.C.; PETERSON, K.D.; CLARK, A; FERGUSON R.B.; STRUB, M.R.; BOWER, D.R. The effects of spacing and thinning on sand and characteristics of 38-year-old loblolly pine. **Forest Ecology and Management**, v. 137, n. 1-3, p. 91 - 102, 2000.
- BARROS, D.A.; MACHADO, S.A.; ACERBI JÚNIOR, F.W.; SCOLFORO, J.R.S. Comportamento de Modelos Hipsométricos Tradicionais e Genéricos para Plantações de *Pinus oocarpa* em Diferentes Tratamentos. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, v. 45, n. 1, p. 03 - 28, 2004.
- BARTOSZECK A.C.P.S.; MACHADO S.A.; FIGUEIREDO FILHO A.; OLIVEIRA E.B. A distribuição diamétrica para bracingais em diferentes idades, sítios e densidades da região metropolitana de Curitiba. **Floresta.** v. 34, n. 3, p. 305 - 327, 2004.
- BERGER, R.; SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C.A.G.; HASELEIN, C. Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. **Ciência Florestal**, v. 12, n. 2, p. 75 - 87, 2002.
- BERNARDO, A.L.; REIS, M.G. F.; REIS, G.G.; HARRISON, R.B.; FIRME, D.J. Effect of spacing on growth and biomass distribution in *Eucalyptus camaldulensis*, *E. pellita* and *E. urophylla* plantations in southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 104, n. 1, p. 1 - 13, 1998.
- CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas.** 4 ed. Viçosa: Editora UFV, 548p., 2013.
- CAMPOS, J.C.C.; RIBEIRO, J.O.; PAULA NETO, F. **Inventário florestal nacional, reflorestamento:** Minas Gerais. Brasília, DF: IBDF, 126p., 1984.
- CAMPOS, L.J.D. **Prognose por classe de diâmetro a partir de modelos do tipo povoamento total.** Viçosa, MG: UFV, 1997, 53 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Florestal de Viçosa.
- CASTRO, C.R.T.; PACIULLO, D.S.C.; GOMIDE, C.A.M.; MÜLLER, M.D.; NASCIMENTO JÚNIOR, E.R.N. Características agronômicas, massa de forragem e

valor nutritivo da *Brachiaria decumbens* em sistema silvipastoril. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 1, n. 60, p. 19 - 25, 2009.

CIPRIANI, H.N.; VIEIRA, A. H.; GODINHO, V. Crescimento inicial de clones de eucalipto em Vilhena, RO. Porto Velho: Embrapa Rondônia, **Comunicado Técnico** 388, 3p., 2013.

CLUTTER, J. L.; ALLISON, B. J. A growth and yield model for *Pinus radiata* in New Zealand for tree and stand simulation. Royal College of Forestry. **Research Notes**, v. 30, p. 136 - 160, 1974.

CLUTTER J.L.; FORTSON J. C.; PIENAAR L.V.; BRISTER G.H.; BAILEY R.L. **Timber management: a quantitative approach**. New York. John Wiley & Sons, 333p., 1983.

COELHO JÚNIOR, L.M.; RESENDE, J.L.P.; OLIVEIRA, A.D.; COIMBRA, L.A.B.; SOUZA, A.N. Análise de risco de um sistema agroflorestal sob situação de risco. **Cerne**, v. 14, n. 4, p. 368 - 378, 2008.

COUTO, L.; DANIEL, O.; GARCIA, R.; BOWERS, W.; DUBÉ, F. **Sistemas agroflorestais com eucaliptos no Brasil: uma visão geral**. Viçosa: SIF, 49p., 1998.

CUNHA NETO, F.R.; SCOLFORO, J.R.S.; CALEGARIO, N.; OLIVEIRA, A.D.; JÚNIOR, H.K. Modelo para predição da produção por classe de diâmetro para *Eucalyptus grandis*. **Cerne**, v. 1, n. 1, p. 108 - 122, 1994.

DUBÈ F.; COUTO L.; SILVA M.L.; LEITE H.G.; GARCIA R.; ARAÚJO G.A.A. A simulation model for evaluating technical and economic aspects of an industrial eucalyptus-based agroforestry system in Minas Gerais, Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 55, n. 1, p. 73 - 80, 2002.

FERREIRA G.W.D.; FILHO A.C.F.; PINTO A.L.R.; SCOLFORO J.R.S. Influência do desbaste na forma do fuste de povoamentos naturais de *Eremanthus incanus* (Less.) Less. **Ciências Agrárias**, v. 35, n. 4, p. 1707 - 1720, 2014.

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

GLADE, J.E. **Prognose de volume por classes diamétricas para *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden**. Curitiba, PR: UFPR, 1986. 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

GRAYBILL, F.A. **Theory and application of the linear model**. Massachusetts: Duxbury Press, 704p., 1976.

GRIFFIN, A.R. Clones or Improved Seedlings of Eucalyptus? Not a Simple Choice. **International Forestry Review**, v. 16, n. 2, p. 216 - 224, 2014.

HAFLEY, W. L.; SCHREUDER, H. T. Statistical distributions for fitting diameter and height data in ever-aged stands. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 7, p. 481 - 487, 1977.

HUSCH, B.; BEERS, T.W.; KERSHAW JUNIOR, J.A. **Forest mensuration**. 4 ed. Malabar: Krieger Publishing Company, 443p., 2003.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório Ibá 2016**. 96p. Relativo a 2015. Disponível em: <<http://iba.org/pt/biblioteca-iba/publicacoes>>. Acesso em: 16 fev. 2017.

JORGE, L.A.B.; VEIGA, R.A.A.; PONTINHA, A.A.S. A função Weibull no estudo de distribuições diamétricas em povoamentos de *Pinus elliottii* na Estação Experimental de Itapeva. **IPEF**. Piracicaba v. 43, n. 44, p. 54 - 60, 1990.

KRUSCHEWSKY G.C.; MACEDO R.L.G.; VENTURIN N.; OLIVEIRA T.K. Arranjo estrutural e dinâmica de crescimento de *Eucalyptus* spp., em sistema agrossilvipastoril no cerrado. **Cerne**, v. 13, n. 4, p. 360 - 367, 2007.

LARSON, P. R. Stem Form Development of Forest Trees. **Forest Science**. Monograph 5. Washington, 42p., 1963.

LEITE H.G.; CASTRO, R.; SILVA, A.; JÚNIOR, C.; BINOTI, B.; CASTRO, A.F.; BINOTI M. Classificação da capacidade produtiva de povoamentos de eucalipto utilizando diâmetro dominante. **Silva Lusitana**. v. 19, n. 2, p. 169 – 183, 2011.

LEITE, H.G.; GAMA, J.V.; CRUZ, J.P.; SOUZA, A.L. Função de afilamento para *Virola surinamensis* (ROLL.) WARB. **Revista Árvore**, v. 30, n. 1, p. 99 - 106, 2006.

LEITE H.G.; NOGUEIRA G.S.; MOREIRA A.M. Efeito do espaçamento e da idade sobre variáveis de povoamento de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, v.30, n. 4, p. 603 – 612, 2006.

LIMA, W. P. **Impacto ambiental do eucalipto**. 2 ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 301p., 1996.

LIN, Y.; YANG, H.; IVKOVIĆ, M.; GAPARE, W.J.; MATHESON, A.C.; WU, H.X. Effect of genotype by spacing interaction on radiata pine genetic parameters for height and diameter growth. **Forest Ecology and Management**. v. 304, p. 204 - 211, 2013.

MACEDO, R.L.G. **Princípios básicos para o manejo sustentável de sistemas agroflorestais**. Lavras: UFLA/FAEPE, 157p., 2000.

MACHADO, S.A.; BARROS, D.A.; SCOLFORO, J.R.; ACERBI JÚNIOR, F.W. The effects of successive thinning on the hypsometric function for *Pinus oocarpa* stands. **Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 2, p. 397 - 406, 2011.

MAESTRI, R.M.; SCOLFORO, J.R.S.; HOSOKAWA, R.T. Um sistema de predição do crescimento e produção para povoamentos de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild). **Revista Árvore**, v. 19, n. 3, p. 358 – 381, 1995.

MATIAS, S.V.B.G. **Desempenho silvicultural e qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus* em sistemas de integração lavoura pecuária floresta**. Lavras, MG: UFLA. 2016. 90 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

MEHTÄTALO, L.; MALTAMO, M.; KANGAS, A. The use of quantile trees in the prediction of the diameter distribution of a stand. **Silva Fennica**, v. 40, n. 3, p. 501 - 516, 2006.

MÜLLER, M. D.; SALLES, T. T.; PACIULLO, D. S. C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. R. T. Equações de altura, volume e afilamento para eucalipto e acácia estabelecidos em sistema silvipastoril. **Floresta**, v. 44, n. 3, p. 473-484, 2014.

MÜLLER, M.D.; NOGUEIRA, G.S.; CASTRO, C.R.T.; PACIULLO, D.S.C.; ALVES, F.F.; CASTRO, R.V.O.; FERNANDES, E.N. Economic analysis of an agrosilvipastoral system for a mountainous area in Zona da Mata Mineira, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1148 - 1153, 2011.

MURARA JUNIOR, M.I.; ROCHA, M.P.; TIMOFEICZYK JUNIOR, R. Rendimento em madeira serrada de *Pinus taeda* para duas metodologias de desdobro. **Floresta**, v. 35, n. 3, p. 473 - 483, 2005.

NASSUR, O. A. C.; ROSADO L. R.; ROSADO, S. C. S.; CARVALHO, P. M. Variações na qualidade de toras de *Toona ciliata* M. Roem. com dezoito anos de idade. **Cerne**, v. 9, n. 1, p. 43 - 49, 2013.

NOGUEIRA, G.S.; LEITE, H.G.; CAMPOS, J.C.C.; SOUZA, A.L.; COUTO, L. Determinação da idade técnica de desbaste em plantações de eucalipto utilizando o método dos ingressos percentuais. **Scientia Forestalis**, n. 59, p. 51 - 59, 2001.

NOGUEIRA, G. S.; LEITE, H.G.; CAMPOS, J.C.C.; SOUZA, A.L.; COUTO, L. Modelo de distribuição diamétrica para povoamentos de *Eucalyptus* sp. submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, v. 29, n. 4, p. 579 - 589, 2005.

NOGUEIRA, G. S.; LEITE, H. G.; REIS, G. G. MOREIRA, A. M. Influência do espaçamento inicial sobre a forma do fuste de árvores de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, v. 32, n. 5, p. 855 - 860, 2008.

NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; COSTA, L.M. Aspectos nutricionais e ambientais do eucalipto. **Silvicultura**, v. 17, n. 68, p. 10 - 18, 1996.

OLIVEIRA, T. K.; MACEDO, R. L. G.; VENTURIN, N.; HIGASHIKAWA, E. M. Desempenho silvicultural e produtivo de eucalipto sob diferentes arranjos espaciais em sistema agrossilvipastoril. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 1, n. 60, p. 1 - 9, 2009.

PACIULLO, D.S.C.; CASTRO, C.R.T.; GOMIDE, C.A.M.; MAURÍCIO, R.M.; PIRES, M.F.A.; MÜLLER, M.D.; XAVIER, D.F. Performance of dairy heifers in a silvopastoral system. **Livestock Science**, v. 141, n. 2-3, p. 166 - 172, 2011.

PAULA, R.R.; REIS, G.G.; REIS, M.G.; NETO, S.N.O.; LEITE, H.G.; MELIDO, R.C.; LOPES, H.N.S.; SOUZA, F.C. Eucalypt growth in monoculture and silvopastoral systems with varied tree initial densities and spatial arrangements. **Agroforestry Systems**, v. 87, n. 6, p. 1295 - 1307, 2013.

PINKARD E.A.; NEILSEN W.A. Crown and stand characteristics of *Eucalyptus nitens* in response to initial spacing: implications for thinning. **Forest Ecology and Management**, v. 172, n. 2, p. 215 - 227, 2003.

PRASAD J.V.N.S.; KORWAR G.R.; RAO K.V.; MANDAL U.K.; RAO C.A.R.; RAO G.R.; RAMAKRISHNA Y.S.; VENKATESWARLU B.; RAO S.N.; KULKARNI H.D.; RAO M.R. Tree row spacing affected agronomic and economic performance of Eucalyptus-based agroforestry in Andhra Pradesh, Southern India. **Agroforestry Systems**, v. 78, n. 3, p. 253 - 267, 2010.

PULZ F.A.; SCOLFORO J.R.; OLIVEIRA A.D.; MELLO J.M.; OLIVEIRA FILHO A.T. Acuracidade da predição da distribuição diamétrica de uma floresta inequiana com a matriz de transição. **Cerne**, v.5, n. 1, p. 01 - 14, 1999.

REIS, H.A.; MAGALHÃES, L.L. Agrossilvicultura no Cerrado – Região Nordeste do Estado de Minas Gerais. In: GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F.; GAMA RODRIGUES, E.F.; FREITAS, M.S.M.; VIANA, A.P.; JASMIM, J.M.; MARCIANO, C.R.; CARNEIRO, J.G.A. **Sistemas agroflorestais: bases científicas para o desenvolvimento sustentável**. Campos dos Goytacazes, RJ: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, p. 177 - 187, 2006.

REIS, M.G.F.; REIS, G.G.; FONTAN, I.C.I.; MONTE, M.A.; MAGALHÃES, L.L.; SILVEIRA, V.P. Leaf area index in pruned stands of two clones of different crown architecture in an agrosilvopastoral system. In: IUFRO CONFERENCE: **Eucalypts and diversity – balancing productivity and sustainability**. Durban, 6p., 2007.

REZENDE, G.D.S.P.; RESENDE, M.D.V.; ASSIS, T.F. Eucalyptus breeding for clonal Forestry In: Challenges and Opportunities for the World's Forests in the 21st Century. **Forestry Sciences**, Springer, Dordrecht, v. 81, p. 393 - 424, 2013.

REZENDE, S.B.; RESENDE, M. Solos dos mares de morros: Ocupação e uso. In: ALVAREZ V.H.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F. **Os solos nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Universidade Federal de Viçosa, p. 261 - 289, 1996.

RIZZINI, C. T. **Tratado de Fitogeografia do Brasil**. 2 ed. São Paulo: Âmbito Cultural Edições Ltda. 747p., 1997.

ROSADO, A.M.; ROSADO, T.B.; ALVES, A.A.; LAVIOLA, B.G.; BHERING, L.L. Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com produtividade, estabilidade e adaptabilidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 7, p. 966 - 973, 2012.

SCANAVACA, L. J.; GARCIA, J. N. Rendimento em madeira serrada de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, n. 63, p. 32 - 43, 2003.

SCHNEIDER P. R.; SCHNEIDER P. S. P. **Introdução ao manejo florestal**. Santa Maria: FACOS-UFSM. 566p. 2008.

SCHUMACHER, F.; HALL, F.X. Logarithmic expression of timber-tree volume. **Journal of Agricultural Research**. v. 47, n. 9, p. 719 - 734, 1933.

SCOLFORO J.R.S.; PULZ F.A.; MELLO J.M. Modelagem da produção, idade das florestas nativas, distribuição espacial das espécies e a análise estrutural. **Manejo Florestal**. UFLA/FAEPE, Lavras, p. 189 - 256, 1998.

SEDJO, R.A. The potential of high-yield plantation Forestry for meeting timber needs. **New Forests**, v. 17, n. 8, p. 339 - 359, 1999.

SILVA, J.M.S. **Estudo silvicultural e econômico do consórcio de *Eucalyptus grandis* com gramíneas sob diferentes espaçamentos em áreas acidentadas.** Viçosa, MG: UFV, 1999. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SILVA, S. **Eficiência de redes neurais artificiais para estimar variáveis dendrométricas em sistemas agrossilvipastoris na Zona da Mata mineira.** Viçosa, MG: UFV, 2016. 103 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SILVEIRA, D. P.; LEITE, H. G.; SILVEIRA, V. P.; MELIDO, R. C. N. Classificação de árvores de eucalipto para postes em sistemas agroflorestais. **Revista Árvore**, v. 35, n. 4, p. 875 – 882, 2011.

SOARES, T.S.; LEITE, H.G.; VALE, A.B.D.; SOARES, C.P.B.; SILVA, G.F.D. Avaliação de um modelo de passo invariante na predição da estrutura de um povoamento de *Eucalyptus* sp. **Revista Árvore**, v. 31, n. 2, p. 275 - 283, 2007.

SOUZA, C. A. M. **Modelos de afilamento para *Pinus taeda* L. ajustados segundo a forma do tronco e métodos de estratificação.** Santa Maria, RS: UFSA. 2009. 120 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SOUZA, C.A.M.; SILVA, G. F.; XAVIER, A. C.; MENDONÇA, A. R.; ALMEIDA, A. Q. Avaliação de modelos de afilamento não-segmentados na estimação da altura e volume comercial de *Eucalyptus* sp. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 3, p. 393 – 405, 2008.

SOUZA, R. R.; NOGUEIRA, G. S.; MURTA JÚNIOR, L. S.; PELLI, E.; OLIVEIRA, M. L. R.; ABRAHÃO, C. P.; LEITE, H. G. Forma de fuste de árvores de *Eucalyptus* em plantios com diferentes densidades iniciais. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 109 p. 33 - 40, 2016.

SPURR, S. **Forest inventory.** New York: The Ronald Press, 476p., 1952.

SUDARIĆ, A.; SIMIC, D.; VRATARIC, M. Characterization of genotype by environment interactions in soybean breeding programmes of southeast Europe. **Plant Breeding**, v. 125, n. 2, p. 191 - 194, 2005.

VALVERDE, S.R.; SOARES, N.S.; SILVA, M.L.; JACOVINE, L.A.G.; NEIVA, S.A. O comportamento do mercado da madeira de eucalipto no Brasil. **Biomassa & Energia**, v. 1, n. 4, p. 393 - 403, 2004.

VENDRUSCOLO, D.G.S.; DRESHER, R.; CARVALHO, S.P.C.; SOUZA, H.S.; SILVA, R.S.; CHAVES, A.G.S. Forma do fuste de árvores de *Tectona grandis* em diferentes espaçamentos. **Advances in Forestry Science**, v. 3, n. 3, p. 51 - 54, 2016.

WEIBULL, W. A statistical distribution function of wide applicability. **Journal of Applied Mechanics**. v. 18, n. 51, p. 293 - 297, 1951.

XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R.L. **Silvicultura clonal – princípios e técnicas**. 2 ed. Viçosa: UFV, 272p., 2013.

XAVIER, D.F.; CARVALHO, M.M.; ALVIM, M.J.; BOTREL, M.A. Melhoria da fertilidade do solo em pastagem de *Brachiaria decumbens* associada com leguminosas arbóreas. **Pasturas Tropicales**, v. 25, n. 1, p. 23 - 26, 2003.

CAPÍTULO 2

CORRELAÇÕES ENTRE CARACTERÍSTICAS SILVICULTURAIS E DO PASTO EM SISTEMA SILVIPASTORIL COM CLONES DE EUCALIPTO

1. INTRODUÇÃO

Historicamente, a Zona da Mata mineira teve sua economia associada à pecuária, conduzida de maneira extensiva em solos de baixa fertilidade natural. Como consequência, esta região, assim como outras do país, encontra-se com elevado percentual de suas áreas agricultáveis em diversos níveis de degradação (MACEDO, 2005; DIAS FILHO, 2007).

Os sistemas silvipastoris constituem alternativas potenciais para a recuperação de pastagens, pois a integração dos componentes arbóreo e pecuário, numa mesma área e de forma simultânea, pode trazer benefícios para o sistema de produção (CARVALHO, 2001). Pelo fato da Zona da Mata apresentar, em sua maior parte, topografia acidentada, este sistema apresenta potencial ambiental e socioeconômico quando comparado a modelos tradicionais de monocultivo de forrageiras ao aumentar a eficiência no uso da água e contribuir com a conservação do solo por meio do controle da erosão e da ciclagem de nutrientes pelo maior aporte de serapilheira (FERNANDES et al., 2007; LIMA et al., 2007; BERNARDINO & GARCIA, 2009). Além de reduzir dos riscos econômicos de investimentos florestais e aumento de produtos comerciais da propriedade, que diversificam e incrementam a renda do produtor (COELHO JÚNIOR et al., 2008; PACIULLO et al., 2011; MÜLLER et al., 2011).

Para o componente pecuário, o sistema silvipastoril pode melhorar a quantidade e a qualidade da forragem (LIN et al., 1998; PACIULLO et al., 2007), o conforto térmico e o desempenho animal (LEME et al., 2005; PACIULLO et al., 2011). Porém, segundo Abraham et al. (2014) e Guenni et al. (2008), o sombreamento excessivo pode causar perdas na produtividade da espécie forrageira, devido à redução da luminosidade.

As forrageiras apresentam alterações morfológicas quando expostas a baixos níveis de irradiância, como aumento do alongamento da lâmina foliar, redução do perfilhamento, aumento da área foliar específica, modificações na relação folha:caule e

no ângulo de inclinação das folhas, as quais influenciam diretamente na produção do componente pecuário do sistema silvipastoril (LIN et al., 2001; GOBBI et al., 2009; PACIULLO et al., 2017). Todavia, estudos conduzidos por Castro et al. (1999), Paciullo et al. (2008) e Sousa et al. (2010), em condições de sombreamento moderado, indicaram que algumas espécies forrageiras podem ter produção semelhantes a do cultivo a pleno sol ou mesmo superior, dependendo do nível de redução da radiação fotossinteticamente ativa.

Embora a escolha da espécie forrageira deva ser feita visando cultivares tolerantes ao sombreamento moderado, sua produtividade ainda poderá oscilar quando comparada ao monocultivo em função da redução da luminosidade decorrente da arquitetura de copa e o estágio de crescimento da espécie arbórea (CARVALHO, 2001; OLIVEIRA et al., 2016). A transmitância da radiação solar para o estrato inferior ao do dossel arbóreo é influenciada pela distribuição espacial das árvores e pela arquitetura de suas copas. Oliveira et al. (2007) e Rozados-Lorenzo et al. (2007) mencionam a importância da escolha de espécies arbóreas que possuem densidade de copa adequada para composição de sistema silvipastoril.

As espécies do gênero *Eucalyptus* são potenciais para composição de sistemas silvipastoris, em razão da capacidade de adaptação a diferentes condições edáficas e climáticas, possuir elevada taxa de crescimento e por apresentarem arquitetura de copa que permite o crescimento e desenvolvimento de espécies forrageiras no sub-bosque (OLIVEIRA et al., 2007; MACEDO et al., 2010; OLIVEIRA NETO et al., 2010).

Porém, naturalmente, as espécies de eucalipto e seus híbridos possuem características distintas, inclusive no que se refere a arquitetura de copa, interferindo no percentual de cobertura da superfície do solo e na disponibilidade lumínica para o componente do estrato inferior em sistemas arborizados (OLIVEIRA NETO et al., 2007).

O conhecimento do efeito do grau de sombreamento proporcionado pela copa de diferentes clones sobre a produção das espécies forrageiras é importante para o planejamento de sistemas silvipastoris, visando máxima produção de forragem. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a estrutura de copa dos clones de eucalipto GG100 e I144 e a sua influência sobre o acúmulo de matéria seca e altura da forrageira *Urochloa brizantha* em sistema silvipastoril, no município de Coronel Pacheco, MG, durante quatro estações do ano.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DO ESTUDO

O estudo foi realizado na Fazenda Triqueda, localizada no município de Coronel Pacheco, na Zona da Mata mineira, situado à latitude de 21°37'30" S e longitude de 43°17'21.81" W, a 652 m de altitude. O relevo da região se encontra sob domínio de mares de morros, com predominância de solo do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo. Segundo Rezende & Resende (1996) e Abrahão et al. (2000), os solos nos mares de morros, por serem bastante intemperizados, geralmente possuem baixa fertilidade natural e baixa presença de minerais primários.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa (mesotérmico), definido como subtropical úmido e caracterizado por invernos secos e verões chuvosos. Sua vegetação característica, conforme Rizzini (1997), é do tipo Floresta Estacional Semidecidual, sob domínio do bioma Mata Atlântica.

A precipitação média anual na região se mantém entorno de 1.500 mm e concentra-se entre os meses de outubro e abril, com temperaturas médias de 18 °C de abril a setembro e 22 °C de outubro a março (PACIULLO et al., 2011; MÜLLER et al., 2014).

2.2. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA SILVIPASTORIL

O estudo foi realizado em um sistema silvipastoril com área de 8,5 ha, em área com relevo montanhoso de declividade média de 23%, com as árvores dispostas em linhas simples, no espaçamento 14,0 x 2,8 m, seguindo a curva de nível do terreno (área ilustrada na Figura 1 do Capítulo 1).

O componente arbóreo foi implantado em novembro de 2009, sendo dois híbridos (clones) comerciais de eucalipto resultantes do cruzamento genético entre as espécies *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis*, denominado clone GG100, desenvolvido pela Gerdau S.A., e clone I144, da Arcelor Mittal (antiga Acesita). A forrageira *Urochloa brizantha* (syn. *Brachiaria brizantha*) se encontrava estabelecida no local há 15 anos, sem adubação e correção da acidez rotineira em seu cultivo.

O manejo do gado consistiu no pastejo de lotação intermitente por bovinos da raça Brangus, com taxa de lotação média de 1,5 UA.ha⁻¹. O piquete sob avaliação foi ocupado

durante quinze dias, seguido de trinta dias de descanso, havendo prolongamento do período de descanso nas estações do ano com baixa precipitação e períodos de estiagem.

Os dados climáticos relativos ao período experimental foram adquiridos pela Estação Meteorológica do Campo Experimental da Embrapa Gado de Leite em Coronel Pacheco (Tabela 1), localizada aproximadamente a 9 Km da área em estudo. Durante o período de estudo, que ocorreu entre os meses de junho de 2016 e maio de 2017, o índice pluviométrico foi 1.073 mm, com temperatura máxima de 34,3°C e mínima de 10,1°C na estação seca e 36,6°C e 15,0°C, respectivamente, na estação chuvosa.

Tabela 1. Variáveis climáticas correspondentes ao período experimental (junho de 2016 a maio de 2017) provenientes da pela Estação Meteorológica do Campo Experimental da Embrapa Gado de Leite, em Coronel Pacheco, MG

Mês/ano	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)			Insolação (horas/dia)
		Máxima	Mínima	Média	
2016					
Junho	29,0	31,0	6,5	17,3	4,1
Julho	6,6	33,6	8,2	18,0	4,0
Agosto	16,8	34,6	8,3	19,4	5,6
Setembro	48,2	35,9	9,1	21,4	6,2
Outubro	53,0	37,1	11,8	22,4	4,7
Novembro	280,2	34,7	10,4	22,7	5,6
Dezembro	150,2	36,7	16,4	24,0	6,9
2017					
Janeiro	174,8	36,7	17,6	23,2	7,6
Fevereiro	68,4	37,0	17,4	24,4	7,4
Março	80,2	37,5	16,2	26,4	7,5
Abril	97,2	36,1	15,6	24,5	5,1
Maior	68,4	34,7	12,7	21,6	4,4

Durante a realização da pesquisa foram realizadas coletas de solo nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm de profundidade nas entrelinhas do eucalipto, sendo as propriedades químicas apresentadas na Tabela 2 e as propriedades granulométricas e classificação textural na Tabela 3.

Tabela 2. Propriedades químicas do solo do sistema silvipastoril, em Coronel Pacheco, MG

Clone	Profundidade	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	CTC (t)	CTC (T)	V	m	MO
		H ₂ O	-- mg.dm ⁻³ --			----- cmol _c .dm ⁻³ -----						---%---		dag.kg ⁻¹
GG100	0-20 cm	5,4	1,1	25	0,7	0,4	0,6	3,47	1,2	1,8	4,6	25	34	2,63
GG100	20-40 cm	5,3	0,9	20	0,4	0,2	0,8	4,13	0,7	1,5	4,8	14	55	2,52
I144	0-20 cm	5,2	0,9	17	0,3	0,2	1,0	4,29	0,5	1,5	4,8	11	65	2,63
I144	20-40 cm	5,2	0,9	15	0,2	0,1	1,2	4,46	0,3	1,5	4,8	7	78	2,40

pH em água, KCl e CaCl₂ – Relação 1:2,5
P; Na; K; Fe; Zn; Mn; Cu = Extrator Mehlich 1
Ca²⁺; Mg²⁺; Al³⁺ = Extrator: KCl – 1 mol/L
H + Al = Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L – pH
B = Extrator Água quente
S = Extrator Fosfato monocálcico em ácido acético
SB = Soma de Bases Trocáveis

CTC (t) = Capacidade de Troca Catiônica Efetiva
CTC (T) = Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0
V = Índice de Saturação de Bases
m = Índice de Saturação de Alumínio
ISNa = Índice de Saturação de Sódio
Mat. Org. (MO) = Oxidação: Na₂Cr₂O₇ 4N + H₂SO₄ 10N
P-rem = Fósforo Remanescente

Tabela 3. Propriedades granulométricas e classificação textural do solo do sistema silvipastoril, em Coronel Pacheco, MG

Clone	Profundidade	Argila	Silte	Areia	Classificação Textural	Tipo de Solo
		----- % -----				
GG100	0-20 cm	31	25	44	Franco-argilosa	Textura média
GG100	20-40 cm	40	18	42	Franco-argilosa	Argiloso
I144	0-20 cm	45	9	46	Argila	Argiloso
I144	20-40 cm	45	14	41	Argila	Argiloso

Teores de argila, silte e areia determinados pelo teste da pipeta, segundo Embrapa (1997).

2.3. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Foi adotado o delineamento em blocos casualizados com oito tratamentos, resultantes da combinação entre dois clones de eucalipto e quatro estações do ano, com três repetições (blocos).

O experimento foi estabelecido na face de uma encosta onde as linhas de plantio das árvores seguindo o sentido as curvas de nível do terreno. Foram demarcadas três blocos por clone, com dimensões de 14 x 28 m (392 m²) cada, posicionados em declive nas entrelinhas das árvores com a finalidade de eliminar possíveis interferências de sua posição na encosta nos resultados.

2.4. AVALIAÇÃO DO DOSSEL ARBÓREO

Para avaliar o dossel arbóreo foram alocadas cinco parcelas amostrais na área de cultivo de cada clone, sendo estabelecidos, em cada parcela, nove pontos de coleta de imagens sistematicamente selecionados em duas diagonais que se cruzam (Figura 1A do Apêndice). As imagens foram coletadas no período matutino com o tempo nublado, sob radiação difusa, para evitar interferências da luz direta. A coleta foi realizada 89 meses após a implantação do sistema silvipastoril.

Para obtenção do índice de área foliar (IAF) e percentual de cobertura de dossel (CD), foram coletadas imagens hemisféricas utilizando o sensor *CI-110 Digital Plant Canopy Imager* (CID Inc., Camas, WA, USA). Esta análise foi realizada a partir do balanço entre a radiação solar interceptada pelas folhas e outros componentes das árvores e a radiação que incide diretamente sobre o solo.

As imagens foram processadas no *software Gap Light Analyzer* (GLA) para se obter imagens de 1bit, composta por pixels brancos e pretos. Assim, transformados em dados booleanos (sistema binário), associando os pixels brancos com o valor 1, que representam a presença de luminosidade na imagem capturada, e os pixels pretos com o valor 0, representando a ausência de luz, caracterizando o dossel. Com o GLA foram obtidos os valores de IAF e de abertura de dossel (AD). Para calcular a CD, foi subtraído o valor de AD de 100%.

Na análise do dossel foi considerado o delineamento experimental inteiramente casualizado, tendo os clones como tratamentos. Para avaliação do IAF e CD, os resultados foram submetidos à análise de variância, a 5% de probabilidade.

2.5. ALTURA DO PASTO E MASSA E ACÚMULO DE FORRAGEM

No interior de cada bloco foram determinadas seis áreas de amostragem sistematicamente divididas em pares nos terços superior, médio e inferior da entrelinha do plantio de eucalipto, usados para avaliações da forragem (Figura 1A do Apêndice).

Para estimativa da massa de forragem foi utilizada uma moldura metálica quadrada com 0,5 m de lado, lançada ao acaso nas regiões de amostragem do bloco. Os perfis presentes no interior da moldura foram cortados rente ao solo, com auxílio de um cutelo. O material coletado foi armazenado em sacolas de papel, identificado e encaminhado para o laboratório.

A altura do pasto foi considerada como a distância do solo até o ponto médio de inclinação das folhas do estrato superior do dossel forrageiro, medida com uma régua graduada em milímetros. A altura do pasto foi determinada pela média de três leituras realizadas acerca de 1 metro entre elas, tomando como referência as regiões de amostragem do pasto.

As avaliações do pasto foram realizadas ao longo de um ano, sendo repetidas nas quatro estações. Em cada estação a altura forragem foi medida e coletada em dois momentos, no dia seguinte da saída do animal do piquete pastejado, denominado pós-pastejo, e no dia anterior ao retorno do animal ao piquete, ou, pré-pastejo. As datas e intervalos de coleta relativos a cada estação estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Datas e intervalos de coleta da forragem, conforme a estação do ano, no sistema silvipastoril, em Coronel Pacheco, MG

Estação do Ano	Período de Duração da Estação		Data de coleta		Intervalo de coleta (dias)
	Início	Término	Pós-pastejo	Pré-pastejo	
Inverno	20/06/2016	22/09/2016	20/06/2016	17/07/2016	27
Primavera	22/09/2016	21/12/2016	08/11/2016	07/12/2016	29
Verão	21/12/2016	20/03/2017	17/01/2017	23/02/2017	37
Outono	20/03/2017	21/06/2017	07/04/2017	24/05/2017	48

As amostras foram pesadas (peso total) no laboratório e tiveram as frações de materiais vivo e morto separadas e pesadas para obtenção do valor de peso fresco. Em seguida, o material foi encaminhado para estufa de circulação de ar forçada, a 55 °C, até atingir peso constante, para obtenção do teor de matéria seca (MS) (SILVA & QUEIROZ, 2002).

O acúmulo de forragem foi calculado pela diferença entre a massa de forragem do pré-pastejo e do pós-pastejo. O valor então foi dividido pelo número de dias do período

de pousio gerando a taxa média de acúmulo de forragem ($\text{kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$), com base na MS, para cada ciclo de pastejo. A altura do pasto foi medida nos momentos de pré-pastejo e pós-pastejo, em cada estação.

Na avaliação das características do dossel arbóreo e do acúmulo anual de forragem, os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de t de Student, a 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. AVALIAÇÃO DO DOSEL ARBÓREO

O índice de área foliar (IAF) dos clones, definido por Jonckheere et al. (2004) como a razão dimensional da superfície fotossintética de tecido foliar por unidade de área, e o percentual de cobertura do dossel (CD%), que consiste no balanço entre a radiação que atinge o topo do dossel das árvores e a radiação que atinge o solo (MONTE et al., 2007), são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Médias do índice de área foliar (IAF) e da porcentagem de cobertura de dossel (CD%), com o respectivo desvio padrão, dos clones GG100 e I144 em sistema silvipastoril, aos 89 meses de idade, em Coronel Pacheco, MG

Clones	IAF	CD%
GG100	0,60 ^b ± 0,09	41,2 ^b ± 3,9
I144	0,81 ^a ± 0,16	53,8 ^a ± 5,6

Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si, pelo teste t de Student, a 5% de probabilidade.

O clone I144 apresentou IAF superior ao do GG100, indicando menor transmitância da radiação solar para o sub-bosque do povoamento do clone I144 e redução dos níveis de irradiância para a espécie forrageira.

Como a maioria das espécies forrageiras do grupo fotossintético C₄, a *U. brizantha* necessita de luz em abundância para produzir em níveis adequados. Por esse motivo, variações na intensidade de radiação interferem na capacidade produtiva do pasto (PACIULLO et al., 2017).

Em estudo realizado por Oliveira et al. (2016) no município de Vazante, MG, em um sistema silvipastoril com espaçamento de 9 x 3 m, aos 62 meses de idade, o clone

GG100 apresentou IAF menor entre os cinco clones de eucalipto avaliados. O valor encontrado (1,31), foi maior que o do presente estudo, indicando possíveis variações em função de local e tratos culturais.

Aplicando-se o princípio da cobertura de dossel (CD) em sistemas silvipastoris, a radiação solar que atinge o solo corresponde à radiação disponível para o crescimento do pasto. O CD% foi maior no clone I144 do que no GG100. Por serem híbridos das mesmas espécies de eucalipto, é esperado que o clone I144 tenha estrutura de dossel mais desenvolvida devido a maior capacidade produtiva.

Por meio das análises de IAF e CD% é possível avaliar características da copa e indicar os materiais genéticos mais adequados para compor sistemas silvipastoris (CHAVES et al. 2007), definir o arranjo espacial de plantio e as épocas de aplicação das técnicas de desrama e desbaste. Tais procedimentos podem compor estratégias visando maximizar a produtividade do componente arbóreo e, ao mesmo tempo, permitir a incidência de radiação solar em níveis favoráveis ao crescimento da forrageira, minimizando a competição entre as árvores e o pasto (ROZADOS-LORENZO et al., 2007).

Espécies forrageiras cultivadas em sistemas silvipastoris, em condições de sombreamento moderado, podem alcançar produções semelhantes às observadas a pleno sol. Porém, níveis de cobertura de dossel acima de 40-50%, de um modo geral, prejudicam o crescimento e a produção da forrageira nos sistemas (ERIKSEN & WHITNEY, 1981; PANDEY et al., 2011). O clone I144 apresentou CD de 53,8%, valor que, neste momento, o insere acima do limite superior sugerido pelos autores. De outro modo, o clone GG100, com CD de 41,2%, está abaixo de 50% de CD, o qual presume-se também prejuízo para o crescimento do pasto.

Em estudo realizado por Andrade et al. (2004), avaliando o efeito de diversos níveis de sombreamento na produtividade da espécie *Urochloa brizantha* cv. Marandu, foi observada redução de 60% na taxa de acúmulo de MS quando a forrageira foi cultivada sob 70% sombreamento artificial.

Ao longo do tempo, em função das alterações na arquitetura de copa decorrentes do desenvolvimento das árvores, há variações no padrão de distribuição da radiação solar para o sub-bosque, com tendência de aumento do IAF até o fechamento do dossel (FORRESTER et al., 2010). Essas variações resultam em alterações morfológicas e fisiológicas na forrageira, a fim de maximizar a absorção da radiação fotossinteticamente ativa (RFA), até atingir seu limite tolerável de sombreamento, que varia de acordo com características do dossel arbóreo, como densidade de plantio, arranjo espacial

(OLIVEIRA et al., 2007; PRASAD et al., 2010; MÜLLER et al., 2015), arquitetura de copa (XAVIER et al., 2002; DOVEY & DU TOIT, 2006) e genótipo (SILVA-PANDO et al., 2002; XAVIER et al., 2002; FONTAN, 2007).

Visando evitar a redução da quantidade e qualidade da forragem produzida em função do sombreamento excessivo do pasto, técnicas silviculturais de desrama e desbaste podem ser implementadas no componente arbóreo a fim de favorecer a transmitância da radiação solar através do dossel, aumentando o percentual de RFA incidente no sub-bosque de sistema silvipastoril (YU et al., 2003; WHITEHEAD & BEADLE, 2004).

3.2. ALTURA DO PASTO E MASSA E ACÚMULO DE FORRAGEM

As alturas pré e pós-pastejo do pasto sob o dossel dos clones GG100 e I144, conforme a estação do ano, são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6. Altura do pasto (cm) pós-pastejo e pré-pastejo e desvio padrão da amostra, conforme as estações do ano, em sistema silvipastoril composto por dois clones de eucalipto, em Coronel Pacheco, MG

Clone		Estação do ano			
		Primavera	Verão	Outono	Inverno
GG100	Pós-pastejo	16,9 ± 2,5	17,9 ± 1,2	16,3 ± 2,2	20,4 ± 3,8
	Pré-pastejo	17,5 ± 4,0	29,7 ± 2,4	19,7 ± 2,2	18,5 ± 2,9
I144	Pós-pastejo	16,3 ± 1,3	18,6 ± 0,7	17,5 ± 1,9	17,3 ± 2,8
	Pré-pastejo	20,9 ± 3,5	28,6 ± 1,4	17,9 ± 1,9	18,0 ± 2,4

A altura pré-pastejo do pasto não apresentou variações representativas entre os clones durante as quatro estações. Outono e inverno foram as estações com menores alturas da forrageira sob o dossel do clone I144. No inverno, sob o GG100, a forrageira apresentou menor altura pré-pastejo em relação ao pós-pastejo.

Avaliando variáveis morfogênicas que influenciam o crescimento de *B. decumbens* em sistema silvipastoril sob influência de sombreamento, Paciullo et al. (2008) observaram taxas de alongamento da folha e do colmo inferiores no inverno, sendo que as demais estações tiveram taxas similares.

Alterações nas características morfológicas, como a taxa de crescimento da forrageira, são associadas às variáveis ambientais. Efeitos observados em estações de seca na região em estudo estão associados com baixas temperaturas e precipitação (Tabela 1) que, entre diversos fatores, influenciam na redução da disponibilidade de nutrientes para a planta (NABINGER & PONTES, 2001; PACIULLO et al., 2011).

O processo de rebrotação, que influencia no crescimento do pasto, sofre interferência da redução na biomassa do sistema radicular, resultando em maior vulnerabilidade do pasto aos estresses ambientais e das características químicas e físicas do solo (DIAS FILHO, 2000).

A produção de massa de forragem sob o dossel dos clones GG100 e I144 no período de descanso do pasto, conforme a estação do ano, é apresentado na Tabela 7.

Tabela 7. Acúmulo de forragem ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$ de MS) e desvio padrão da amostra de *Urochloa brizantha* durante o período de descanso do pasto, conforme as estações do ano, em sistema silvipastoril, em Coronel Pacheco, MG

Clone	Estação do ano			
	Primavera	Verão	Outono	Inverno
GG100	421,5 ± 268,3	640,9 ± 424,0	911,5 ± 489,9	51,3 ± 608,2
I144	416,1 ± 394,1	602,2 ± 412,5	1202,0 ± 475,9	8,2 ± 310,4

Não houve diferença estatística do acúmulo de forragem entre os clones, sugerindo que o IAF e %CD maiores do clone I144 não afetaram negativamente o acúmulo de forragem do capim-braquiária sob seu dossel, em relação ao GG100.

Em estudo realizado em Sinop, MT, Crestani (2015) observou valores semelhantes de acúmulo de forragem em sistema silvipastoril nas estações verão e outono, porém a massa produzida à pleno sol foi significativamente superior.

As taxas de acúmulo de MS da forrageira sob o dossel dos clones GG100 e I144, calculadas por estação do ano, estão apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8. Taxa de acúmulo de forragem ($\text{kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ de MS) e desvio padrão da amostra de *Urochloa brizantha* durante o período de descanso do pasto, conforme as estações do ano, em sistema silvipastoril, em Coronel Pacheco, MG

Clone	Estação do ano			
	Primavera	Verão	Outono	Inverno
GG100	14,5 ± 9,3	17,3 ± 11,5	19,0 ± 10,2	1,9 ± 22,5
I144	14,3 ± 13,6	16,3 ± 11,1	25,0 ± 9,9	0,3 ± 11,5

Avaliando a taxa de acúmulo de forragem sob efeito dos clones, foi observada queda acentuada durante o inverno, quando a precipitação e temperatura decresceram acentuadamente (Tabela 1). Sob o clone GG100, a forrageira teve maiores acúmulos nas estações da primavera, verão e outono, não havendo diferenças estatísticas entre os valores correspondentes. Já sob influência do clone I144, o outono foi a estação em que houve maior acúmulo, seguido pela primavera e verão.

O outono apresentou redução no volume de chuvas em relação ao verão. Porém, observou-se a maior taxa de acúmulo da forrageira sob o clone I144, nesta estação. Este fato provavelmente esteve relacionado às menores taxas de evapotranspiração no sub-bosque, o que favoreceu a manutenção da umidade do solo (VEIGA E SERRÃO, 1990; BUERGLER, 2004). Dessa forma, possivelmente, o maior sombreamento exercido pelo dossel do I144, decorrente da maior percentagem de CD, reduziu o efeito negativo do estresse hídrico sobre a forrageira.

As maiores taxas de acúmulo de forragem no sub-bosque do GG100, durante as estações de primavera, verão e outono, em relação ao inverno, convergem com os resultados de Paciullo et al. (2008), que verificaram em um sistema silvipastoril composto por *U. decumbens* e as espécies *E. grandis*, *Acacia mangium*, *Acacia angustissima* e *Mimosa artemisiana*, maiores taxas de produção de MS durante as estações com maiores temperaturas e precipitações.

As taxas de acúmulo da forrageira, sob o dossel dos clones, apresentaram comportamentos semelhantes, de forma que a diferença da arquitetura de copa não influenciou no acúmulo de forragem ao longo do ano.

Os valores de acúmulo anual de forragem e altura anual média do pasto sob os clones são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9. Acúmulo anual de forragem (kg ha⁻¹ de MS) e altura média (cm) e desvio padrão da amostra de *Urochloa brizantha* em sistema silvipastoril, em Coronel Pacheco, MG

Clone	Acúmulo anual de forragem	Altura anual média
GG100	4.812,9 ^a	17,9 ± 3,0 (Pós-pastejo)
		21,4 ± 5,7 (Pré-pastejo)
I144	5.107,3 ^a	17,4 ± 2,0 (Pós-pastejo)
		21,3 ± 5,0 (Pré-pastejo)

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student, a 5% de probabilidade.

O acúmulo anual de forragem sob o dossel dos clones não apresentou diferenças significativas, indicando que *U. brizantha* teve o mesmo comportamento, em relação à produção de MS, quando cultivada no sub-bosque dos clones GG100 e I144. Contudo, pode-se considerar que os valores de acúmulo estiveram aquém do potencial de produção da *U. brizantha*. Na literatura, é possível encontrar dados de acúmulo diário desta espécie de forragem, em condições de sol pleno, da ordem de 60 a 85 kg ha⁻¹ dia⁻¹ e acúmulo anual entre 10.000 e 15.000 kg ha⁻¹ de MS (CRESTANI, 2015; ANJOS et al., 2016).

Deduz-se que os percentuais de cobertura dos dosséis, para ambos os clones, já haviam alcançado valores limitantes para o crescimento da gramínea.

A similaridade no acúmulo de forragem dos clones pode ser resultante dos elevados percentuais de sombreamento. E também pode-se considerar que a baixa fertilidade do solo, caracterizada pela acidez elevada e baixos teores de fósforo, potássio, cálcio e magnésio, tenha limitado o crescimento do pasto, mesmo nas estações com melhores condições climáticas.

As baixas taxas de acúmulo encontrados neste trabalho, poderiam comprometer as taxas de lotação animal para ambos os sistemas silvipastoris. Considerando o potencial de consumo de bovinos (2,5 % de peso vivo (PV)) e a eficiência de uso do pasto de 50% da massa acumulada (PACIULLO et al., 2011), estima-se que as pastagens suportariam, no máximo, entre 0,5 e 1,0 UA.ha⁻¹. Esses valores estão aquém daqueles reportados na literatura em sistemas silvipastoris, entre 1,2 e 1,8 UA.ha⁻¹ (PACIULLO et al., 2011; FERNANDES et al., 2016; SANTOS, 2016).

Oliveira et al. (2016) avaliaram a produção de MS de *U. brizantha* cultivada sob cinco clones de eucalipto em sistema silvipastoril, nos arranjos espaciais em linhas duplas (3 x 3) + 9 m (556 plantas ha⁻¹) e linhas simples 9 x 3 m (370 plantas ha⁻¹), aos 50 meses de idade, em Vazante, MG. Dentre os clones estudados apenas um proporcionou diferença significativa na produção de MS de forragem. E os autores concluem que a distância da entrelinha deve ser aumentada visando maior produção de forragem, devido a espécie *U. brizantha* apresentar média tolerância à sombra (ANDRADE et al. 2004; GOBBI et al. 2009; SOARES et al. 2009; VARELLA et al. 2009).

O monitoramento e controle do nível de sombreamento são fundamentais para que os componentes do sistema silvipastoril possam produzir de forma tecnicamente adequada, especialmente o pasto, que se encontra sob restrição de luminosidade no sub-bosque do componente arbóreo. A opção por espécies de árvores com arquitetura de copa que permitem a passagem de radiação solar em níveis adequados para o sub-bosque, assim como a escolha de espécies forrageiras tolerantes à níveis moderados de sombreamento, devem ser priorizadas, em conjunto à adequação do espaçamento de plantio e manejo das árvores e da pastagem.

4. CONCLUSÃO

- Os clones de eucalipto que compuseram os sistemas silvipastoris apresentam diferenças em suas estruturas de copa quanto ao índice de área foliar e cobertura de dossel;
- A estrutura de copa dos clones exerceram efeitos similares sobre o acúmulo de matéria seca e altura do pasto de *Urochloa brizantha* no sistema silvipastoril;
- Houve influência negativa do dossel dos clones de eucalipto sobre as características produtivas da forrageira.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAHAM, E.M.; KYRIAZOPOULOS, A.P.; PARISSI, Z.M.; KOSTOPOULOU, P.; KARATASSIOU, M.; ANJALANIDOU, K.; KATSOUTA, C. Growth, dry matter production, phenotypic plasticity, and nutritive value of three natural populations of *Dactylis glomerata* L. under various shading treatments. **Agroforestry Systems**, v.88, n. 2, p. 287 - 299, 2014.
- ANDRADE, C.M.S.; VALENTIM, J.F.; CARNEIRO, J.C.; VAZ, F.A. Crescimento de gramíneas e leguminosas forrageiras tropicais sob sombreamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 3, p. 263 - 270, 2004.
- ANJOS, A.J.; GOMIDE, C.A.M.; RIBEIRO, K.G.; MADEIRO, A.S.; MORENZ, M.; PACIULLO, D.S.C. Forage mass and morphological composition of Marandu palisade grass pasture under rest periods. **Ciência e Agrotecnologia**, v.40, n. 1, p.76-86, 2016.
- BERNARDINO, F.S.; GARCIA, R. Sistemas Silvistoris. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n.60, p.77-87, 2009.
- BURGLER, A.L. **Forage production and nutritive value in a temperate Appalachian silvopasture**. 2004. 265 f. Thesis (MSc. In Crop and Soil Environmental Sciences) – Faculty of Virginia, Polytechnic Institute and State University, Blacksburg.
- CAMPOS, N.R.; PACIULLO, D.S.C.; TAVELA, R.C.; FREITAS VIANA, F.M.; BONAPARTE, T. P. Características Morfogênicas e Estruturais da *Brachiaria decumbens* em Sistema Silvistoril e Cultivo Exclusivo. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, n. 2, p. 819 - 821, 2008.
- CARNEVALLI, R.A.; DA SILVA, S.C.; BUENO, A.A.O.; UEBELE, M.C.; BUENO, F.O.; HODGSON, J.; SILVA, G.N.; MORAIS, J.P.G. Herbage production and grazing losses in *Panicum maximum* cv. Mombaça pastures under four grazing managements. **Tropical Grasslands**, v. 40, n. 3, p. 165 - 176, 2006.
- CARVALHO, M.M.; FREITAS, V.; XAVIER, D. Contribuição dos sistemas silvistoris para a sustentabilidade de atividade leiteira. In: Sustentabilidade de sistemas de produção de leite a pasto e em confinamento, 2001, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, p. 85 - 107, 2001.
- CASTRO, C.R.T.; GARCIA, R.; CARVALHO, M.M.; COUTO, L. Produção forrageira de gramíneas cultivadas sob luminosidade reduzida. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 28, n. 5, p. 919 - 927, 1999.
- CHAVES, R.A.; REIS, M.G.F.; REIS, G.G.; PEZZOPANE, J.E.M.; XAVIER, A.; MONTE, M.A. Dinâmica de cobertura de dossel de povoamentos de clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex-Maiden submetidos a desrama artificial e desbaste. **Revista Árvore**, v. 31, n. 6, p. 989 - 998, 2007.
- COELHO JÚNIOR, L.M.; RESENDE, J.L.P.; OLIVEIRA, A.D.; COIMBRA, L.A.B.; SOUZA, A.N.. Análise de risco de um sistema agroflorestal sob situação de risco. **Cerne**, v. 14, p. 368 - 378, 2008.

CRESTANI, S. **Respostas morfológicas e dinâmica da população de perfilhos e touceiras em *Brachiaria brizantha* cv. Piatã submetida a regimes de sombra em área de integração lavoura-pecuária-floresta.** Piracicaba, SP: ESALQ, 2015. 101 f. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

DIAS FILHO, M.B. Growth and biomass allocation of the C4 grasses *Brachiaria brizantha* and *B. humidicola* under shade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 12, p. 2335 - 2341, 2000.

DIAS FILHO, M.B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação.** 3 ed. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 190p., 2007.

DOVEY, S.B.; DU TOIT, B. Calibration of LAI-2000 canopy analyser with leaf area index in a young eucalypt stand. **Trees**, v. 20, n. 3, p. 273 - 277, 2006.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo.** 2ª Ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 212p., 1997.

ERIKSEN, F.I.; WHITNEY, A.S. Effects of light intensity on growth of some tropical forage species. I. Interaction of light intensity and nitrogen fertilization on six forage grasses. **Agronomy Journal**, v. 73, n. 3, p. 427 - 433, 1981.

FERNANDES, E.N.; PACIULLO, D.S.C.; CASTRO, C.R.T.; MÜLLER, M.D.; ARCURI, P.B.; CARNEIRO, J.C. **Sistemas agrossilvipastoris na América do Sul: desafios e potencialidades.** Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 362p., 2007.

FERNÁNDEZ, M.E.; GYENGE, J.E.; SALDA, G.D.; SCHLICHTER, T.M. Silvopastoral systems in northwestern Patagonia I: growth and photosynthesis of *Stipa speciosa* under different levels of *Pinus ponderosa* cover. **Agroforestry Systems**, v. 55, p. 27 - 35, 2002.

FONTAN, I.C.I. **Dinâmica de copa e crescimento de clones de eucalipto submetidos a desrama, em sistema agroflorestal.** Viçosa, MG: UFV, 2007. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

FORRESTER, D.I.; MEDHURST, J.L.; WOOD, M.; BEADLE, C.L.; VALENCIA, J.C. Growth and physiological responses to silviculture for producing solid-wood products from *Eucalyptus* plantations: an Australian perspective. **Forest Ecology and Management**, v. 15, n. 9, p. 1819 - 1835, 2010.

GOBBI, K.F.; GARCIA, R.; GARCEZ NETO, A.F.; PEREIRA, O.G.; VENTRELLA, M.C.; ROCHA, G.C. Características morfológicas, estruturais e produtividade do capim-braquiária e do amendoim forrageiro submetidos ao sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 9, p. 1645 - 1654, 2009.

GUENNI, O.; SEITER, S.; FIGUEROA, R. Growth responses of three *Brachiaria* species to light intensity and nitrogen supply. **Tropical Grasslands**, v. 42, n. 2, p.75-87, 2008.

JONCKHEERE, I.; FLECK, S.; NACKAERTS, K.; MUYS, B.; COPPIN, P.; WEISS, M.; BARET, F. Review of methods for in situ leaf area index determination: Part I.

Theories, sensors and hemispherical photography. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 121, n. 1, p. 19-35, 2004.

LEME, T.M.S.P.; PIRES, M.F.Á.; VERNEQUE, R.S.; ALVIM, M.J.; AROEIRA, L.J.M. Comportamento de vacas mestiças Holandês x Zebu, em pastagem de *Brachiaria decumbens* em sistema silvipastoril. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 3, p. 668 - 675, 2005.

LIMA, S.S.; LEITE, L.F.C.; OLIVEIRA, F.C.C.; CASTRO, A.A.J.F.; COSTA, D.B.; GUALTER, R.M.R. Teores de nutrientes da serapilheira e do solo sob sistema agroflorestal em área de transição no norte do Piauí. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, n. 2, p. 1034 - 1037, 2007.

LIN, C.H.; MCGRAW, R.L.; GEORGE, M.F.; GARRETT, H.E. Nutritive quality and morphological development under partial shade of some forage species with agroforestry potential. **Agroforestry Systems**, v. 53, n. 3, p. 269 - 281, 2001.

LIN, C.H.; MCGRAW, R.L.; GEORGE, M.F.; GARRETT, H.E. Shade effects on forage crops with potential in temperate agroforestry practices. **Agroforestry Systems**, v. 44, n. 2, p. 109 - 119, 1998.

MACEDO, M.C.M. Pastagens no ecossistema cerrados: evolução das pesquisas para o desenvolvimento sustentável. **Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 42, p. 56 - 84, 2005.

MACEDO, R.L.G.; VALE, A.B.; VENTURIN, N. **Eucalipto em sistemas agroflorestais**. Lavras: UFLA, 331p., 2010.

MONTE, M.A.; REIS, M.G.F.; REIS, G.G.; LEITE, H.G.; STOCKS, J.J. Métodos indiretos de estimação da cobertura de dossel em povoamentos de clone de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 6, p. 769 - 775, 2007.

MÜLLER, M.D.; MARTINS, C.E.; BRIGHENTI, A.M.; MORENZ, M.J.F.; ROCHA, W.S.D.; SOBRINHO, F.S.; CALSAVARA, L.H.F.; ANDRADE, P.J.M.A.; MACHADO, A. F. Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta como alternativa para produção pecuária leiteira sustentável em áreas declivosas. In: **Sustentabilidade ambiental, social e econômica da cadeia produtiva do leite: desafios e perspectivas**. 1ed: Brasília: Embrapa Gado de Leite, v. 1, p. 343 - 386, 2015.

MÜLLER, M.D.; NOGUEIRA, G.S.; CASTRO, C.R.T.D.; PACIULLO, D.S.C.; ALVES, F.D.F.; CASTRO, R.V.O.; FERNANDES, E.N. Economic analysis of an agrosilvipastoral system for a mountainous area in Zona da Mata Mineira, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1148 - 1153, 2011.

NABINGER, C.; PONTES, L.S. Morfogênese de plantas forrageiras e estrutura do pasto. **Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 4, p. 755 - 771, 2001.

OLIVEIRA NETO, S.N.; REIS, G.G.; REIS, M.G.F.; LEITE, H.G. Arranjos estruturais do componente arbóreo em sistema agrossilvipastoril e seu manejo por desrama e desbaste. **Informe Agropecuário**, v. 31, n. 257, p. 47 - 58, 2010.

OLIVEIRA, C.H.; REIS, G.G.; REIS, M.G.; LEITE, H.G.; SOUZA, F.C.; FARIA, R.S.; OLIVEIRA, F.B. Dynamics of eucalypt clones canopy and *Brachiaria brizantha* production in silvopastoral systems with different spatial arrangements. **Agroforestry Systems**, v. 90, n. 6, p. 1077 - 1088, 2016.

OLIVEIRA, T.K.; MACEDO, R.L.G.; SANTOS, I.P.A.; HIGASHIKAWA, E.M.; VENTURIN, N. Produtividade de *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf cv. Marandu sob diferentes arranjos estruturais de sistema agrossilvipastoril com eucalipto. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, p. 748 - 757, 2007.

PACIULLO D.S.C.; CASTRO, C.R.T.; GOMIDE, C.A.M.; MAURÍCIO, R.M.; PIRES, M.D.F.A.; MÜLLER, M.D.; XAVIER, D.F. Performance of dairy heifers in a silvopastoral system. **Livestock Science**, v. 141, n. 2, p. 166 - 172, 2011.

PACIULLO D.S.C.; GOMIDE, C.A.M.; CASTRO, C.R.T.; MAURÍCIO, R.M.; FERNANDES, P.B.; MORENZ, M.J.F. Morphogenesis, biomass and nutritive value of *Panicum maximum* under different shade levels and fertilizer nitrogen rates. **Grass and Forage Science**, v. 72, n. 3, p. 590 - 600, 2017.

PACIULLO, D.S.C.; CAMPOS, N.R.; GOMIDE, C.A.M.; DE CASTRO, C.R.T.; TAVELA, R.C.; ROSSIELLO, R.O.P. Crescimento de capim-braquiária influenciado pelo grau de sombreamento e pela estação do ano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 7, p. 917 - 923, 2008.

PACIULLO, D.S.C.; CARVALHO, C.A.B.; AROEIRA, L.J.M.; MORENZ, M.F.; LOPES, F.C.F.; ROSSIELLO, R.O.P. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 4, p. 573 - 579, 2007.

PANDEY, C.B.; VERMA, S.K.; DAGAR, R.C.; SRIVASTAVA, R.C. Forage production and nitrogen nutrition in three grasses under coconut tree shades in the humid-tropics. **Agroforestry Systems**, v. 83, n. 1, p. 1 - 12, 2011.

PRASAD, J.V.N.S.; KORWAR, G.R.; RAO, K.V.; MANDAL, U.K.; RAO, C.A.R.; RAO, G.R.; RAO, M.R. Tree row spacing affected agronomic and economic performance of Eucalyptus-based agroforestry in Andhra Pradesh, Southern India. **Agroforestry Systems**, v. 78, n. 3, p. 253 - 267, 2010.

RIZZINI, C. T. **Tratado de Fitogeografia do Brasil**. 2 ed. São Paulo: Âmbito Cultural Edições Ltda. 747p., 1997.

ROZADOS-LORENZO, M.J.; GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, M.P.; SILVA-PANDO, F.J. Pasture production under different tree species and densities in an Atlantic silvopastoral system. **Agroforestry Systems**, v. 70, n. 1, p. 53 - 62, 2007.

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. Viçosa: UFV, 235p., 2002.

SILVA-PANDO, F.J.; GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, M.P.; ROZADOS-LORENZO, M.J. Pasture production in a silvopastoral system in relation with microclimate variables in the Atlantic coast of Spain. **Agroforestry Systems**, v. 56, n. 3, p. 203 - 211, 2002.

SOUSA, L.F.; MAURÍCIO, R.M.; MOREIRA, G.R.; GONÇALVES, L.C.; BORGES, I.; PEREIRA, L.G.R. Nutritional evaluation of “Braquiarão” grass in association with “Aroeira” trees in a silvopastoral system. **Agroforestry Systems**, v. 79, n. 2, p. 189 - 199, 2010.

VEIGA, J.B.; SERRÃO, E.A.S. Sistemas silvipastoris e produção animal nos trópicos úmidos: uma experiência da Amazônia brasileira. **Pastagens**. Piracicaba: Sociedade Brasileira de Zootecnia, p. 37 - 68, 1990.

WHITEHEAD, D.; BEADLE, C.L. Physiological regulation of productivity and water use in Eucalyptus: A review. **Forest Ecology and Management**, v. 193, n. 1, p. 113 - 140, 2004.

XAVIER, A.C.; VIANEI, J.S.; ALMEIDA, A.C. Variação do índice de área foliar em clones de eucalipto ao longo de seu ciclo de crescimento. **Revista Árvore**, v. 26, n. 4, p. 421 - 427, 2002.

YU, S.; CHAMBERS, J. L.; TANG, Z.; BARNETT, J. P. Crown characteristics of juvenile loblolly pine 6 years after application of thinning and fertilization. **Forest Ecology and Management**, v. 180, n. 1, p. 345 - 352, 2003.

ZANINI, G.D.; SANTOS, G.T.; SCHMITT, D.; PADILHA, D.S.; SBRISSIA, A.F. Distribuição de colmo na estrutura vertical de pastos de capim-aruaana e azevém anual submetidos a pastejo intermitente por ovinos. **Ciência Rural**, v. 42, n. 5, p. 882 - 887, 2012.

6. APÊNDICE

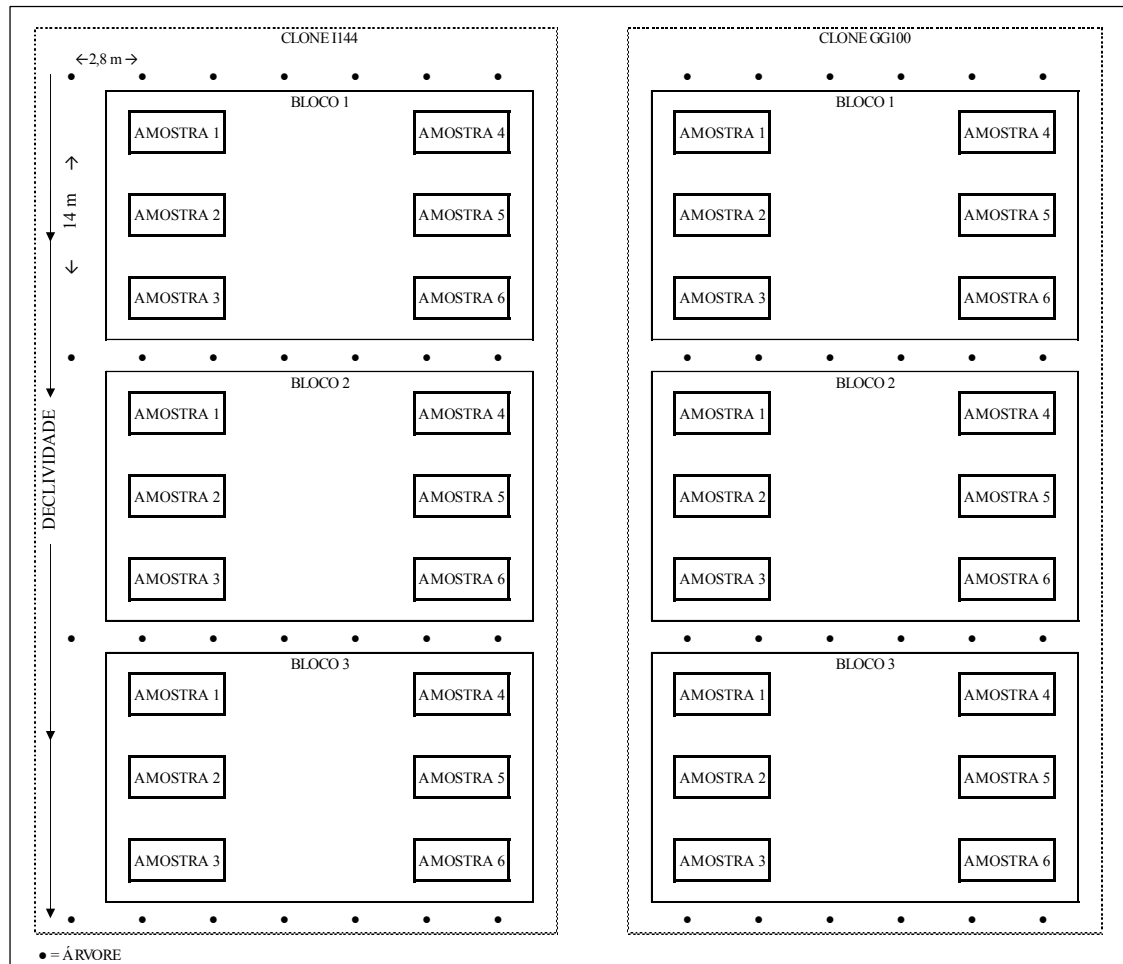


Figura 1A - Representação do delineamento experimental usado para a coleta de dados do componente fôrageiro sob o dossel dos clones GG100 e I144 no sistema silvipastoril, em Coronel Pacheco, MG.

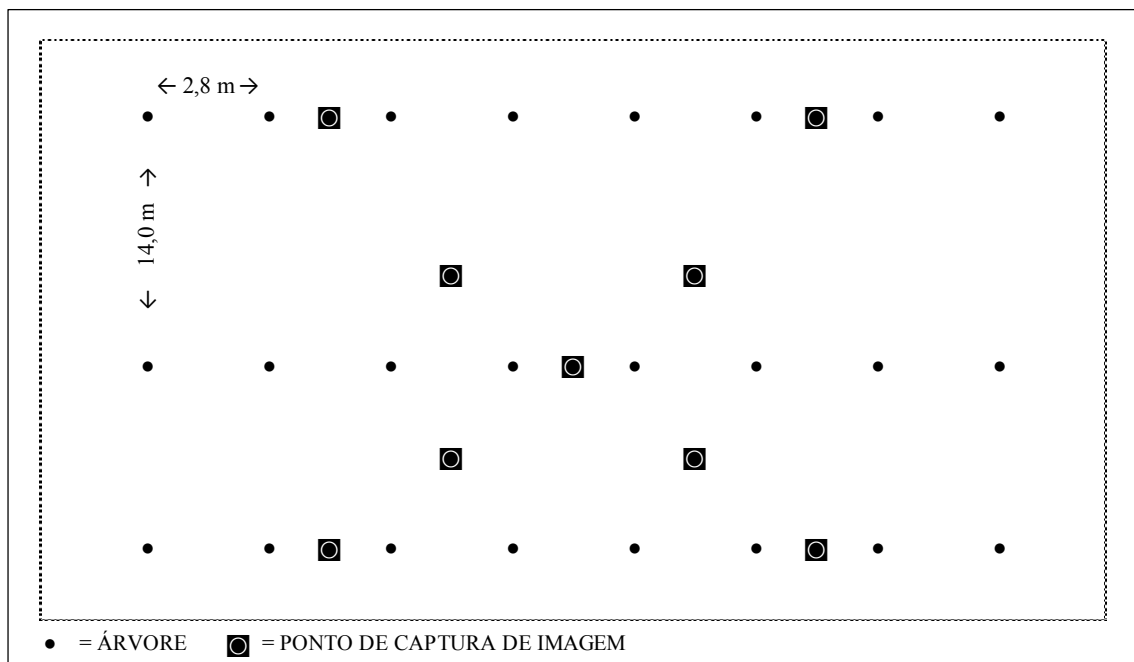


Figura 2A – Representação da parcela amostral com os pontos de coleta das imagens pelo sensor *CI-110 Plant Canopy Imager* usada para avaliação do dossel arbóreo dos clones GG100 e I144, no sistema silvipastoril em Coronel Pacheco, MG.