



KALILL JOSÉ VIANA DA PÁSCOA

**MODELAGEM E ANÁLISE DO CRESCIMENTO
DE *Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish EM
POVOAMENTO PLANTADO**

LAVRAS – MG

2014

KALILL JOSÉ VIANA DA PÁSCOA

MODELAGEM E ANÁLISE DO CRESCIMENTO DE *Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish EM POVOAMENTO PLANTADO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Manejo Florestal, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Prof. Dr. José Roberto Soares Scolforo

LAVRAS – MG

2014

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Páscoa, Kalill José Viana da.

Modelagem e análise do crescimento de *Eremanthus
Erythropappus* (DC.) Macleish em povoamento plantado / Kalill
José Viana da Páscoa. – Lavras : UFLA, 2014.

87 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2014.

Orientador: José Roberto Soares Scolforo.

Bibliografia.

1. Plantio – Espaçamento. 2. Desrama artificial. 3. Manejo. I.
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 634.97355

KALILL JOSÉ VIANA DA PÁSCOA

MODELAGEM E ANÁLISE DO CRESCIMENTO DE *Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish EM POVOAMENTO PLANTADO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Manejo Florestal, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 26 de fevereiro de 2014

Prof. Dr. José Márcio de Mello UFLA

Prof. Dr. Carlos Rogério de Mello UFLA

Orientador

Prof. Dr. José Roberto Soares Scolforo

LAVRAS - MG

2014

Ao meu avô, José Cornélio da Páscoa (in memoriam), exemplo de homem forte, amigo, guerreiro, sincero e fiel a seus princípios que nos abandonou, durante essa caminhada e me ensinou que se deve enfrentar os obstáculos e lutar pela vida até as últimas forças...

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras, ao seu Departamento de Ciências Florestais e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal pela oportunidade concedida para a realização do mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Laboratório de Estudos e Projetos em Manejo Florestal (LEMAF) e aos professores que fazem parte do mesmo, por todas as oportunidades, ensinamentos e pela convivência que, certamente, foram de grande importância para a realização deste trabalho e para o meu crescimento pessoal e profissional.

Aos professores Paulo Cesar Lima e Antônio Carlos Filho (Bob), pela ajuda na elaboração das análises estatísticas.

A todos os Pós-graduandos do programa, especialmente os da linha de pesquisa em Manejo Florestal, em especial aos meus grandes amigos: Bruno (Toró), Henrique Moreira, Henrique Ferraço, Marcel (Baletinha), Vinícius (Chapolin) e Thiza.

A todos os estagiários do LEMAF pela grande ajuda com os trabalhos de campo e na organização da base de dados, em especial aos meus “orientados”, Alex, Hortênsia e André.

Aos meus pais, Josimar e Maria Auxiliadora, pela educação, amor e pelo esforço para que eu alcançasse esta realização. À Mariane pelo amor e apoio e paciência nos momentos de estresse.

À Nossa Senhora Aparecida pelas graças alcançadas durante tantos anos.

Enfim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para a conquista desta vitória, meu muito obrigado.

“Julgue a importância do seu sucesso pelas coisas que você teve que renunciar para conseguir alcançá-lo.”

Dalai Lama

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo analisar e modelar o crescimento das variáveis dendrométricas e aplicar a metodologia de manejo baseado na árvore individual para um povoamento de candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish), submetido a diferentes espaçamentos de plantio e aplicação de desrama artificial. Os dados provenientes para este estudo foram obtidos de um experimento com 10,25 anos e área total de 2,87 ha, localizado no município de Carrancas-MG. O experimento foi disposto no delineamento em blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas no tempo, com três fontes de variação: espaçamento de plantio, aplicação ou não da desrama e a idade. O mesmo possui quatro blocos, com quatro tratamentos, sendo estes os espaçamentos de plantio, (1,5x1,5m; 1,5x2,0m; 1,5x2,5m e 1,5x3,0m) e dois subtratamentos, referentes à aplicação da desrama. A mesma foi aplicada três vezes, nas idades de 0,67; 2,67 e 6,58 anos. O experimento foi acompanhado regularmente desde o seu plantio, ocorrendo medições periódicas do diâmetro medido a 1,30 m do solo (DAP), altura total (HT) e área de projeção da copa (AC) pelo método dos 8 raios de ângulo fixo, além disso, foram calculados a área basal por hectare (G/ha), volume (m³/ha) e a mortalidade (%). Os dados foram submetidos à análise de variância e, no caso do teste F ser significativo, foi conduzido o procedimento adequado de comparação entre as médias. Pelas análises foi indicado que houve um acréscimo da média do DAP e da área de copa com o aumento do espaçamento de plantio, a altura e volume não foram afetados enquanto a mortalidade e área basal diminuíram. A desrama, por sua vez, proporciona árvores com maiores valores médios de DAP, altura total e volume, além de proporcionar maiores índices de mortalidade, área de projeção da copa é menor, enquanto os efeitos sobre a área basal não são tão claros. A análise de variância demonstrou existir efeito dos tratamentos sobre todas as variáveis analisadas. A modelagem do crescimento do DAP, em função da idade e da área de copa, em função do DAP, seguindo a metodologia de modelos mistos, mostrou-se eficiente. Com base nas estimativas de cobertura geradas, foi possível realizar o manejo baseado na árvore individual, chegando-se à porcentagem de remoção necessária a cada espaçamento, de forma que as árvores cresçam livres de competição e produzam árvores com maiores diâmetros.

Palavras-chave: Plantio. Desrama artificial. Manejo.

ABSTRACT

This work had the objective of analyzing and modeling the growth of dendrometric variables and applying the management methodology based on the individual tree for candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish) population, submitted to different planting spacings and the application of artificial pruning. The data used in this work were obtained from an experiment with 10.25 years and a total area of 2.87ha, located in the municipality of Carrancas, Minas Gerais, Brazil. The experiment was arranged in a randomized blocks design, in a scheme of plots subdivided in time, with three variation sources: planting spacings (1.5 x 1.5 m; 1.5 x 2.0 m; 1.5 x 2.5 m and 1.5 x 3.0 m) and two sub-treatments, referent to the pruning. The last was applied three times, at the ages of 0.67; 2.67 and 6.58 years. The experiment was accompanied regularly since planting, performing periodic measurements of the diameter measured at 1,30 m from the ground (DBH), total height (TH) and shoot projection area (SPA) by the 8 radius fixed angle method, in addition, the basal area per hectare (G/ha), the volume (m³/ha) and the mortality (%) were calculated. The data were submitted to analysis of variance and, in the case of the F test being significant, the adequate comparison procedure was conducted between the means. With the analysis it was observed that there was an increase in the means of DBH and shoot area with an increase in planting spacings, height and volume were not affected while the mortality and basal area decreased. On the other hand, pruning provided trees with higher average values of DBH, total height and volume, in addition to providing higher mortality indexes, shoot projection area is smaller, while the effects over the basal area are not so clear. The analysis of variance demonstrated the existence of effect of the treatments over all analyzed variables. The modeling of the DBH growth, in function of the age and shoot area, in function of the DBH, according to the mixed models methodology, was shown to be efficient. Based on the generated coverage estimates, it was possible to perform the management based on individual tree, reaching the removal percentage necessary for each spacing, in a way that the trees grow free from competition and produce trees with larger diameters.

Keyword: Planting. Artificial Pruning. Management.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	Descrição da espécie	14
2.2	Usos da espécie.....	16
2.3	Espaçamento de plantio	17
2.4	Desrama.....	17
2.5	Análise de experimentos	18
2.6	Modelos mistos.....	21
2.7	Análise do crescimento	23
2.8	Manejo baseado na árvore individual	24
3	MATERIAIS E MÉTODOS	26
3.1	Descrição da área de estudo	26
3.2	Coleta das variáveis de interesse	28
3.3	Análise do efeito dos tratamentos sob as variáveis de interesse...	32
3.3.1	Análise exploratória	32
3.3.2	Análise de variância	33
3.4	Modelagem do crescimento.....	35
3.4.1	Modelagem do crescimento diamétrico	36
3.4.2	Modelagem do crescimento da área de projeção da copa	36
3.5	Definição da densidade de árvores por hectare	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1	Análise exploratória.....	38
4.2	Análise de variância.....	48
4.3	Modelagem do crescimento diamétrico	60
4.4	Modelagem da área de projeção de copa	63
4.5	Manejo baseado na árvore individual	67
5	CONCLUSÕES	79
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81

1 INTRODUÇÃO

A espécie *Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish, mais conhecida como candeia, pertence à família Asteraceae. Essa espécie é classificada como espécie de transição entre as áreas de matas semidecíduais e os campos abertos de altitude.

A candeia apresenta baixa exigência edáfica, ocorrendo naturalmente em sítios pouco favoráveis, em áreas pedregosas, tendo como característica formar povoamentos mais ou menos puros (SCOLFORO et al., 2004).

Sua distribuição geográfica no território brasileiro é ampla, estando presente em áreas de Mata Atlântica e Cerrado, ocorrendo nos estados da região centro-oeste e sudeste, principalmente, no estado de Minas Gerais (LOEUILLE, 2010).

Os principais atrativos da espécie são a qualidade de sua madeira para a produção de moirões, já que a mesma é extremamente resistente ao ataque por cupins e fungos e para a extração de óleo essencial de sua madeira.

O óleo extraído da madeira de candeia apresenta alto teor de alfa-bisabolol, composto esse utilizado pelas indústrias de cosméticos, alimentícia e de fármacos em virtude de suas propriedades antimicóticas, bactericida, anti-inflamatórias, antialérgicas entre outras (PEDRALLI, 1997).

Essas duas finalidades são as mais antigas atribuídas à espécie e estão diretamente relacionadas às práticas predatórias e ilícitas de retirada da madeira de florestas nativas que acorreram no passado.

Essas práticas não tinham responsabilidade com a sustentabilidade da produção, ao longo do tempo, muito menos eram consideradas justas economicamente para os produtores rurais, colocando em risco a existência dessas formações florestais.

Ao longo dos anos, graças às pesquisas e à criação de leis específicas para o manejo da espécie, essa mentalidade foi alterada, contudo a atual burocracia para aprovações de planos de manejo no estado de Minas Gerais e a crescente demanda por madeira de candeia e alfa-bisabolol natural colocam em dúvida se apenas o manejo florestal de fragmentos nativos, mesmo que de forma sustentável, serão capazes de suprir a demanda atual e futura.

Logo, estudos que visem à domesticação da espécie e o desenvolvimento da silvicultura comercial da candeia são fundamentais para se diminuir a pressão sobre os candeais nativos, além de satisfazer o apelo ambiental do mercado por produtos oriundos de florestas plantadas.

Contudo em se tratando da candeia de uma espécie nativa, pouco se sabe sobre as suas características silviculturais. Dessa forma, avaliar o crescimento da espécie, quando submetida ao plantio, é importante como forma de se analisar a viabilidade na instalação desses empreendimentos.

Um dos principais pontos limitantes a serem definidos para a domesticação da espécie é quanto ao espaçamento de plantio a ser utilizado. Para essa definição, deve-se avaliar o espaço que proporciona um crescimento ótimo, considerando a relação custo/benefício, além dos fatores ambientais que afetam os processos fisiológicos do crescimento.

Outro fator que deve ser estudado é o fato de que a espécie não apresenta a capacidade de desrama natural. Assim, quando se deseja produzir madeira livre de galhos e/ou nós, caso dos moirões de cerca, é necessária a aplicação da desrama artificial, cujos efeitos sobre o crescimento e desenvolvimento dos indivíduos de candeia, ainda, não foram estudados.

Para efetuar essas análises, a aplicação de modelagens estatísticas adequadas certamente conduz a um diagnóstico mais completo e preciso sobre o crescimento da candeia, em relação aos diferentes manejos aplicados, gerando,

assim, informações mais seguras aos empreendedores florestais interessados em investir na silvicultura da espécie.

Uma maneira lógica para estudar o crescimento de um povoamento florestal é fazer uso de modelos matemáticos. Atualmente um procedimento de modelagem que está sendo amplamente utilizado na análise de crescimento de florestas são os modelos mistos.

O sucesso desse procedimento está associado à capacidade de determinar quais os parâmetros explicam efeitos aleatórios e quais explicam os efeitos fixos, proporcionando, assim, um melhor ajuste e, conseqüentemente, estimativas mais precisas pelo modelo.

Ainda, em relação à modelagem de variáveis dendrométricas, Nutto (2001) afirma que a copa de uma árvore está intimamente relacionada com o seu crescimento, já que essa estrutura é a responsável por captar a energia do sol e transformá-la em energia química pelo processo de fotossíntese.

Logo, a área de copa pode ser utilizada em modelos matemáticos como um indicador do potencial de crescimento de uma árvore, utilizando a relação alométrica existente entre área de projeção da copa e o diâmetro da árvore.

Usando tal relação, pode-se estimar o espaço vital necessário, para que uma árvore atinja o crescimento ótimo, sem a presença de competição, que Assmann (1970) define como o ponto em que a cobertura total do local atinge o valor de 78% e as copas começam a se tocar.

Essa informação, apesar de ser pouco utilizada no Brasil, é muito difundida em países europeus como um indicativo da necessidade de intervenções silviculturais a serem realizadas na floresta, como por exemplo, a definição do número de indivíduos a serem selecionados e conduzidos até o final da rotação, sendo os demais liberados por meio dos desbastes (WEBER, 2007).

Diante do exposto são objetivos do presente trabalho:

- Avaliar o crescimento de indivíduos de candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish) submetidos a diferentes espaçamentos de plantio e aplicação ou não de desrama artificial, objetivando identificar o efeito dos mesmos sobre o crescimento da espécie.

- Modelar o crescimento da candeia, com base no diâmetro e na área de projeção da copa, identificando a melhor estratégia de manejo a ser aplicada aos povoamentos de forma que os mesmos cresçam livres de competição e propor épocas e intensidades, quando necessárias, para a aplicação dos desbastes.

Os objetivos específicos do presente trabalho são:

- Avaliar, estatisticamente, utilizando a análise de variância, se há diferenças entre os espaçamentos de plantios avaliados, bem como em face da aplicação da desrama artificial sobre as variáveis dendrométricas da candeia.

- Modelar o crescimento das variáveis dendrométricas utilizando a metodologia de modelos mistos.

- Verificar a relação alométrica entre as variáveis diâmetro medido a 1,30 m do solo (DAP) e área de projeção da copa (AC), como forma de se construir um modelo para a estimativa da área de copa em função de uma variável de fácil medição.

- Definir a densidade máxima de plantas por hectare, em cada espaçamento e idade, para que a candeia cresça sem competição e possa dessa forma atingir maiores dimensões.

- Definir o número de árvores a serem removidas juntamente com a idade para se aplicar os desbastes.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Descrição da espécie

A candeia pertence à família Asteraceae. Seu gênero *Eremanthus*, possui 22 espécies (Tabela 1) e a espécie mais utilizada para a silvicultura comercial é a *Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish.

Tabela 1- Lista de espécies do gênero *Eremanthus* (LOEUILLE, 2010).

Espécies de candeia
<i>Eremanthus glomeratus</i> Less.
<i>Eremanthus goyazensis</i> Sch. Bip.
<i>Eremanthus matogrossensis</i> Kuntze.
<i>Eremanthus rondoniense</i> MacLeish & Schumacher
<i>Eremanthus argenteus</i> MacLeish & Schumacher
<i>Eremanthus ariculatus</i> MacLeish & Schumacher
<i>Eremanthus cinctus</i> Baker
<i>Eremanthus incanus</i> (Less.) Less.
<i>Eremanthus mollis</i> Sch. Bip.
<i>Eremanthus elaeagnus</i> Sch. Bip.
<i>Eremanthus pabstii</i> G.M. Barroso
<i>Eremanthus veadeiroensis</i> H. Rob.
<i>Eremanthus brasiliensis</i> (Gardner) MacLeish
<i>Eremanthus polycephalus</i> (DC.) MacLeish
<i>Eremanthus erythropappus</i> (DC.) MacLeish
<i>Eremanthus uniflorus</i> MacLeish & Schumacher
<i>Eremanthus capitatus</i> (Sprengel) MacLeish
<i>Eremanthus arboreus</i> (Gardner) MacLeish
<i>Eremanthus brevifolius</i> Loueuille
<i>Eremanthus crotonoides</i> Sch.Bip.
<i>Eremanthus hatschbachii</i> H. Rob.
<i>Eremanthus leucodendron</i> Mattf.

A altura média das árvores da espécie varia de 5 a 7 m, com diâmetro médio entre 10 e 12 cm (SCOLFORO et al., 2008a). As folhas são simples e alternas e têm dupla coloração, na parte superior são verdes e glabras e na parte

inferior possuem um tom branco e aveludado, e as flores se apresentam em inflorescências de cor púrpura.

As sementes são pequenas, numerosas e muito leves, sendo facilmente disseminadas pelo vento, formando, assim, um banco de sementes que promovem uma regeneração abundante.

A madeira apresenta odor característico do seu óleo essencial cujo princípio ativo é o alfa-bisabolol, composto esse responsável pela sua resistência ao apodrecimento e ao ataque por cupins e fungos do solo.

Uma característica marcante da espécie é a capacidade de desenvolvimento em sítios pouco favoráveis em termos de fertilidade e profundidade do solo (PÉREZ et al., 2004), contudo, isso não significa que a mesma não se desenvolva bem em solos com melhores características.

A candeia ocorre, naturalmente, em locais pedregosos, em áreas com altitude entre 400 e 2200 m, ocorrendo com maior frequência nas altitudes superiores a 800m, onde as temperaturas são relativamente baixas.

Sua distribuição geográfica no território brasileiro é ampla, estando presente desde a região de Mata Atlântica até o Cerrado, ocorrendo nos estados da região sudeste e centro-oeste.

Em Minas Gerais, sua ocorrência forma uma ampla faixa, que vai do nordeste ao sul do estado e segue em sentido oeste (Figura 1), sendo sua maior abundância na região sul.

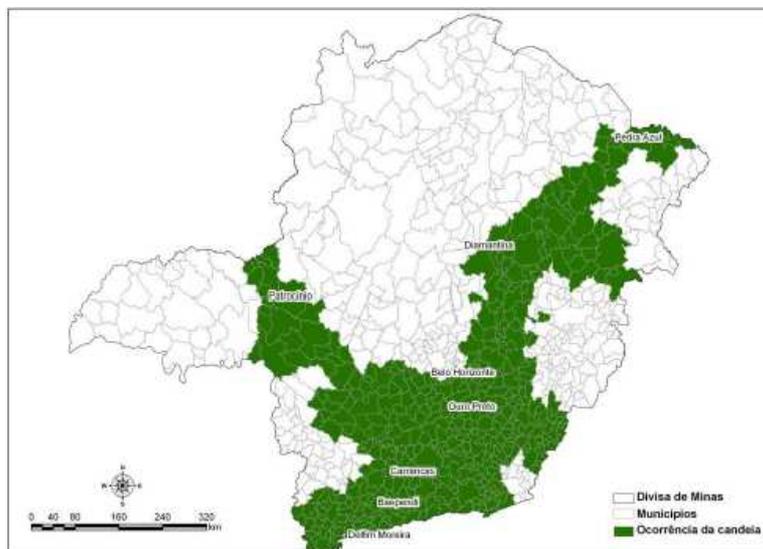


Figura 1: Área de ocorrência da candeia no estado de Minas Gerais.

2.2 Usos da espécie

Um dos principais usos para a madeira de candeia é a confecção de moirões de cerca, que chegam a durar de quatro a cinco vezes mais que os de eucalipto (CÂNDIDO, 1991).

Essa finalidade é uma das mais antigas atribuídas à espécie e diretamente relacionadas às práticas predatórias e ilícitas de retirada da madeira nativa que ocorreram no passado.

Outro uso da madeira da candeia e, talvez, o mais difundido na atualidade, é a extração do seu óleo essencial, o qual é produzido pelo metabolismo secundário da planta. Hoje a extração de óleo corresponde a 75% do uso da candeia (INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS, 2011).

Industrialmente o óleo é retirado da madeira, por meio de destilação por arraste com vapor d'água, sendo, posteriormente processado e separado o alfa-bisabolol, seu principal constituinte (ALTOÉ, 2012). Altoé (2012), ainda, cita

como principais funções biológicas do alfa-bisabolol a propriedade inseticida, fungicida, antibacteriano e anti-inflamatório.

2.3 Espaçamento de plantio

Um dos pontos principais dentro do planejamento da implantação de um povoamento florestal é a definição do espaçamento de plantio. Na escolha do mesmo, deve-se avaliar o espaço que proporciona um crescimento ótimo, considerando a relação custo/benefício, além dos fatores ambientais que afetam os processos fisiológicos de crescimento.

O espaçamento de plantio influencia a taxa de crescimento, o volume de madeira produzido, o sortimento de madeira, a taxa de mortalidade e dominância, a idade de estagnação do crescimento, a área de copa, entre outros aspectos (SCOLFORO; MACHADO, 1996).

De forma geral, espaçamentos maiores propiciam uma maior média aritmética dos diâmetros, por outro lado, área basal e volume total por área são menores. Já nos menores espaçamentos por sua vez, se tem um maior volume total e área basal, contudo a maioria das plantas apresenta pequenos diâmetros. (SCOLFORO, 1998).

Por sua vez, a recomendação do espaçamento de plantio não pode ser genérica, sendo necessário para tal avaliar os usos que se pretende dar ao povoamento além das práticas silviculturais a serem aplicadas.

2.4 Desrama

A desrama pode-se dar tanto de forma natural quanto na forma artificial, contudo poucas espécies florestais apresentam essa capacidade natural. Assim, para as espécies que não apresentam essa característica, caso da candeia, é

necessária a aplicação da desrama artificial, quando se deseja produzir madeira livre de galhos e/ou nós.

A desrama artificial é um tratamento silvicultural que consiste na retirada de um terço dos galhos da base da copa, com o objetivo de produzir uma madeira com menor incidência de nós e galhos, madeira essa mais valorizada pelo mercado.

A retirada dos ramos inferiores tem a vantagem de reduzir o consumo de reservas pela respiração da planta, já que esses galhos geralmente são constituídos por folhas velhas em estado de senescência, que pouco contribuem para a produção de fotoassimilados (POLLI, 2005).

Mediante alguns estudos é indicado que a desrama artificial não influencia, significativamente, o crescimento em diâmetro, altura e volume das árvores, quando a remoção de área foliar é reduzida e constituída, principalmente, de folhas basais (ALMEIDA, 2003; LIMA, 2003).

Porém, a remoção drástica de folhas implica em diminuição no crescimento (BEADLE et al., 2007), já que a redução extrema da superfície fotossintética reduz a produção de carboidratos e dos reguladores de crescimento produzidos na copa (PINKARD, 2002).

Uma particularidade da desrama artificial na candeia é que em razão do fato da espécie apresentar alta intensidade de bifurcação, a remoção de galhos pela desrama pode, na verdade, constituir-se na remoção de fustes secundários, sendo, assim, uma maior atenção deve ser dada à intensidade de remoção para que o crescimento subsequente não seja afetado.

2.5 Análise de experimentos

Uma pesquisa científica consiste basicamente em formular hipóteses e verificá-las por meio de métodos estatísticos. As interpretações dos resultados,

normalmente, passam pela definição de um delineamento experimental e pela análise de variância para definição do efeito dos tratamentos aplicados sobre a variável de interesse.

Entretanto, nas áreas das ciências biológicas, caso da pesquisa florestal, a situação é bem mais complexa do que pode parecer, pois surgem inúmeras causas de variação de controle, impossível ou só parcialmente possível, como por exemplo, erros de medidas, efeitos sazonais entre outros.

Esses fatores produzem variações sobre os dados observados, que podem alterar em menor ou maior intensidade os resultados obtidos. Assim, os princípios básicos da experimentação (repetição, casualização e controle local) podem ter a sua eficiência comprometida na presença desses.

O princípio da repetição busca garantir que se tenham repetições suficientes para produzir uma medida de variabilidade, possibilitando, assim, estimar o erro experimental que permitirá a realização dos testes de hipóteses (PLANT, 2012).

Já a casualização, refere-se à distribuição aleatória dos tratamentos às parcelas, de modo que todas as parcelas tenham a mesma chance de receber qualquer um dos tratamentos, garantindo o caráter aleatório da amostra e conferindo à modelagem estatística a independência entre os resíduos.

Por fim, o controle local, segundo Banzatto e Kronka (2006), é aplicado para se evitar que algum tratamento seja favorecido por características da área, o controle é feito por meio dos blocos, os quais consistem em dividir um ambiente heterogêneo em subambientes homogêneos.

Com base na definição de qual informação se busca com o experimento, deve-se considerar como as condições experimentais serão controladas. Nesse ponto, define-se, então, qual delineamento experimental será utilizado.

Os delineamentos experimentais são as formas como os tratamentos são distribuídos na área experimental. Sua escolha é importante, pois define, também, como deverá ser realizada a análise estatística dos dados.

Os principais delineamentos existentes são:

- Delineamento Inteiramente Casualizado.
- Delineamento em Blocos Casualizados e
- Delineamento em Quadrado Latino.

No caso da implantação de experimentos em campo, o controle das variações ambientais é imprescindível, já que dificilmente as condições experimentais são homogêneas e, caso essas variações não forem controladas, a experimentação pode ser comprometida.

Assim, o delineamento mais utilizado para controlar o efeito ambiental, é o delineamento em blocos casualizados - DBC (GOMES, 2009).

A análise de variância foi introduzida por Fisher e Mackenzie (1923), e é essencialmente um procedimento que visa verificar se existem diferenças significativas entre as médias dos tratamentos e se os fatores em questão exercem influência em alguma variável dependente.

O processo baseia na decomposição da variação total existente entre causas conhecidas e desconhecidas. Os efeitos das causas desconhecidas são atribuídos ao erro experimental. Já os efeitos de causas conhecidas são atribuídos aos tratamentos aplicados.

Como a variação total é medida em termos de variância, primeiramente, é calculada a soma de quadrados. Tais somas de quadrados divididas pelos seus respectivos graus de liberdade fornecem os quadrados médios (variâncias), os quais são confrontados por meio de um teste de hipótese para verificar se as amostras avaliadas diferem, significativamente, ou não.

2.6 Modelos mistos

Um modelo matemático visa, basicamente, explicar as observações de uma variável dependente por meio dos efeitos que se atribuem a outra variável independente. Tais efeitos podem ser de natureza fixa ou aleatória.

Se um modelo apresenta todos os fatores fixos, é chamado de modelo fixo, no entanto, se todos os fatores forem aleatórios, o modelo é chamado de aleatório, quando o modelo apresenta tanto efeitos aleatórios como fixos, é denominado de modelo misto.

Segundo Pinheiro e Bates (2000), a mais comum aplicação dos modelos mistos é para dados com medidas repetidas, em particular, dados longitudinais, permitindo, assim, que equações específicas sejam criadas. Quando as fontes de varrições não se comportem de maneira fixa, essa flexibilidade permite fornecer melhores estimativas da variável de interesse quando comparada com métodos que utilizam apenas os efeitos fixos nos modelos.

Matricialmente, o modelo misto é denotado por:

$$Y = X\beta + Zv + \varepsilon$$

Em que: Y é o vetor de observações; X é a matriz de incidência dos efeitos fixos conhecidos; β é o vetor de efeitos fixos desconhecidos; Z é a matriz de incidência dos efeitos aleatórios (conhecida); v é o vetor de efeitos aleatórios desconhecidos e ε é o vetor de erros aleatórios.

Essa metodologia vem sendo muito utilizada na modelagem do crescimento de florestas podendo citar os trabalhos de Fang e Bailey (2001) e Zhao, Wilson e Borders (2005), permitindo quantificar a variabilidade da resposta que ocorre em decorrência de efeitos aleatórios e identificar os efeitos fixos gerados, por exemplo, pelos tratamentos.

Os parâmetros dos modelos, geralmente, têm uma interpretação física natural e, mesmo quando derivados empiricamente, incorporam essas características, tais como assíntotas, intercepto e inclinação da reta.

Após a construção dos modelos admissíveis para a representação das observações, alguns métodos de seleção de modelos podem ser utilizados para auxiliar na escolha do modelo que melhor se ajuste aos dados, entre eles cabe destaque ao Teste da razão de verossimilhança (TRMV), ao Critério de Akaike (AIC) e ao Critério de informação Bayesiano (BIC).

O teste da razão de máxima verossimilhança (TRMV) compara dois modelos de cada vez, estimados por verossimilhança, sendo um dos modelos uma versão restrita do outro, ou seja, um modelo tem n parâmetros adicionais.

O teste irá verificar se esses parâmetros adicionais melhoram, significativamente, o modelo, sendo calculado da seguinte forma:

$$TRMV = 2[\text{Log}(L_f) - \text{Log}(L_r)]$$

Em que: L_f é o valor da função de verossimilhança para o modelo completo (todos os parâmetros considerados de efeito misto); L_r é a estimativa de probabilidade para o modelo reduzido (alguns dos parâmetros considerados puramente fixo) e Log é logaritmo neperiano.

Outro procedimento para a seleção de modelos consiste em minimizar os critérios de informação de máxima verossimilhança restrita como o Critério de informação de Akaike (AIC) e Critério de informação Bayesiano (BIC).

Logo, o modelo escolhido será aquele que possuir o menor valor para tais critérios. Esses critérios estão fundamentados na teoria de decisão e penaliza os modelos com número grande de parâmetros para evitar excesso de parametrização, sendo calculados pelas seguintes formulas:

$$AIC = -2\text{Log}(L_R + 2q) \quad BIC = -2\text{Log}(L_R + q * \text{Log}(n))$$

Em que: L_R a função de verossimilhança restrita; q é o número de parâmetros de covariâncias, n é o número de observações da amostra.

2.7 Análise do crescimento

O estudo do crescimento das árvores de um povoamento é essencial para a pesquisa florestal. Uma maneira lógica de expressar o crescimento de uma variável dendrométrica ou da produção florestal é por meio do uso de um modelo matemático.

Os modelos ajudam os manejadores florestais de muitas maneiras, possibilitando prever produções futuras ou analisar os efeitos das diferentes opções silviculturais (ABREU, 2000), sendo essas previsões um elemento chave para a análise da viabilidade de um empreendimento florestal.

Vários modelos vêm sendo utilizados no setor florestal, ao longo dos anos, dentre eles podem-se citar os modelos biológicos de Chapman-Richards (Figura 2), Gompertz, Logística e Monomolecular.

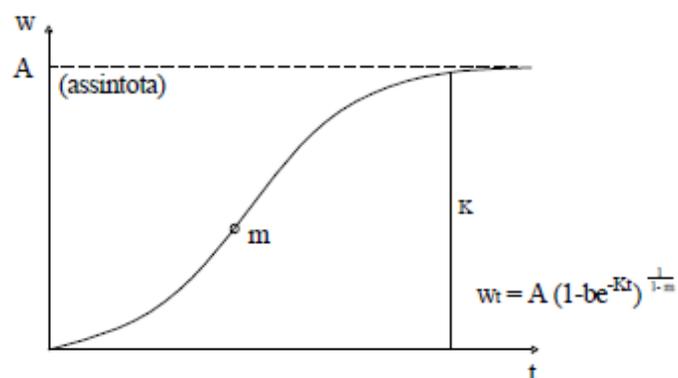


Figura 2: Modelo de crescimento de Chapman e Richards.

Segundo Zeide (1993), a equação de crescimento e produção de Chapman- Richards é a mais usada em estudos de crescimento de árvores, em virtude do fato de possuir grande flexibilidade de aplicação.

Dentre suas características estão: fornecer estimativas adequadas para o ajuste do crescimento de qualquer variável biológica, descrevendo corretamente a fase de crescimento inicial acelerado, o ponto de inflexão e a fase onde o ritmo de crescimento decresce, finalmente tendendo ao valor assintótico (TEMPS, 2005), essas características são representadas na Figura 2.

2.8 Manejo baseado na árvore individual

O manejador busca a melhor forma de realizar as operações na floresta ao longo de sua rotação, tais como a definição do correto espaçamento inicial e dos tratamentos silviculturais adequados de forma que as árvores aproveitem todo o potencial produtivo existente na área.

As árvores, por sua vez, obtêm sua energia pela transformação da luz do sol em energia química pelo processo de fotossíntese, sendo a copa o órgão responsável por esse processo. Dessa maneira, é de se esperar que variáveis como área, diâmetro e comprimento da copa sejam diretamente relacionadas com o crescimento e a produção de uma árvore (NUTTO, 2001).

A copa de uma árvore está intimamente relacionada com o espaço vital disponível para cada indivíduo. Seguindo essa afirmativa, quanto mais denso o povoamento, menores serão as áreas de copas e, conseqüentemente, menores serão os valores de diâmetro, já que a captura de luz e produção de fotoassimilados será menor.

Logo, a área de copa pode ser utilizada, então, como um indicador do potencial de crescimento de uma árvore, pela relação alométrica entre área de projeção da copa e diâmetro da árvore.

Usando tal relação, pode ser estimado o espaço vital necessário para que uma árvore atinja um valor de diâmetro de interesse, ou mesmo o espaço para que ela cresça sem a presença de competição intensa.

Segundo Assmann (1970), um valor clássico que define a época de intervenção, para que não haja competição das copas, é equivalente a 78% de cobertura total da área, ou seja, no momento que o somatório da área de cobertura florestal atingir esse valor, para uma determinada área de plantio, é um indicativo do início de competição entre as plantas.

Esse valor representa a relação de um círculo de raio j , área de projeção da copa, sobre um quadrado de lado j , espaçamento de plantio (Figura 3).

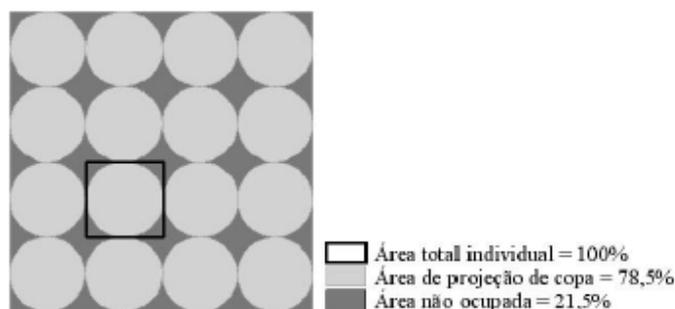


Figura 3: Relação da área de projeção da copa, sobre o valor do espaçamento de plantio, adaptado de Assmann (1970).

Essa informação é muito interessante, podendo ser utilizada como um indicativo da necessidade de intervenções silviculturais a serem realizadas na área, levando a definição do número de indivíduos a serem selecionados e conduzidos até o final da rotação, sendo os demais liberados por meio dos desbastes (DURLO; DENARDI, 1998).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Descrição da área de estudo

A área de estudo está localizada no município de Carrancas, sul do estado de Minas Gerais, nas coordenadas 21°33'00.21'' de latitude Sul e 44°42'43.43'' longitude Oeste, apresentando altitude média de 1.035 metros.

O clima local é do tipo Cwa de Köppen, com temperaturas moderadas, inverno frio e seco e verão quente e chuvoso, apresentando temperatura mínima anual de 14,1°C e máxima de 25,8°C. A precipitação média anual é de 1470 mm e 50% da área do município localizam-se em relevo montanhoso (ASSEMBLÉIA LEGISLATIVA DE MINAS GERAIS, 2010).

O experimento foi instalado em uma área de 2,87 hectares, em março de 2002. Na implantação do experimento foram utilizados 100g/cova do adubo formulado NPK na composição 4-14-8 + 0,4% de Zn. Já na adubação em Cobertura utilizaram-se 30g de bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) por cova.

O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados, com dois fatores de variação (espaçamentos de plantio e aplicação ou não da desrama artificial). A disposição dos tratamentos é apresentada na Figura 4.

O experimento é constituído por quatro blocos, cada um com 4 parcelas onde foram aleatorizados os tratamentos (espaçamentos de plantio). Em cada parcela, ainda, foram aplicados 2 subtratamentos (aplicação ou não da desrama).

Cada parcela foi formada por 224 plantas, distribuídas em oito linhas com 28 plantas cada, separadas por bordadura dupla.

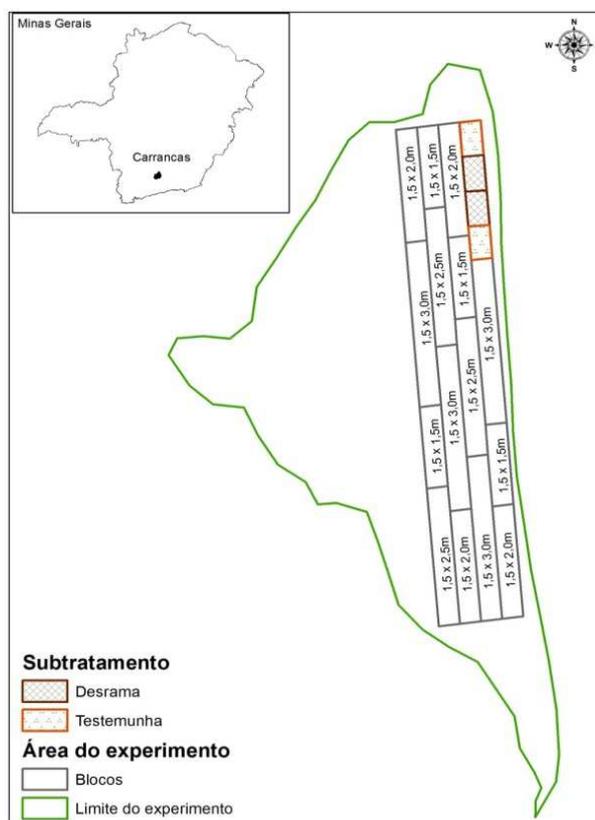


Figura 4: Localização do experimento e distribuição dos tratamentos na área.

Em relação às desramas foram realizadas 3 intervenções, sendo as mesmas efetuadas, respectivamente, aos 0,67; 2,67 e 6,58 anos de idade. As desramas consistiram na retirada de galhos da base da copa, com folhas velhas que consomem mais energia do que sintetizam.

Como a candeia apresenta elevado número de fustes secundários (SILVA, 2009), foram deixados de um a dois fustes por planta. Para essa seleção, foi considerada a qualidade do tronco em relação à tortuosidade, conicidade e sanidade, a proporção de copa que estava sendo retirada e altura de remoção dos galhos.

A Tabela 2 resume os tratamentos aplicados em cada parcela.

Tabela 2 - Tratamentos testados no experimento, em relação ao espaçamento de plantio, na presença ou não da desrama artificial para a candeia.

Espaçamento	Desrama
1,5 x 1,5 m	Com desrama
	Sem desrama
1,5 x 2,0 m	Com desrama
	Sem desrama
1,5 x 2,5 m	Com desrama
	Sem desrama
1,5 x 3,0 m	Com desrama
	Sem desrama

3.2 Coleta das variáveis de interesse

O experimento foi acompanhado, regularmente, desde o seu plantio, com medições periódicas das variáveis dendrométricas:

- Circunferência a 1,30 metros do solo (CAP).
- Altura total da planta (HT) e
- Área de projeção da copa.

Em 16 medições foram mensuradas as CAP's e altura total (HT) de todas as plantas. Em 7 medições (intervalo de, aproximadamente, de 1 ano entre medições) além do CAP e da HT, também, foi mensurada a área de projeção da copa de todas as plantas. As datas de medições e da aplicação das desramas são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3- Datas das medições de área da copa, circunferência a 1,30 metros do solo (CAP), altura total (HT e realização das desramas.

Medição	Data	Idade (anos)	Medições		Desrama
			Copa	CAP e HT	
-	Mar/02		----- Plantio -----		
1 ^a	Nov/02	0,67		x	x
2 ^a	Abr/03	1,08		x	
3 ^a	Out/03	1,58		x	
4 ^a	Mar/04	2,00		x	
5 ^a	Nov/04	2,67		x	x
6 ^a	Mai/05	3,17	x	x	
7 ^a	Nov/05	3,75		x	
8 ^a	Mai/06	4,17	x	x	
9 ^a	Nov/06	4,67		x	
10 ^a	Abr/07	5,17	x	x	
11 ^a	Out/08	6,58	x	x	x
12 ^a	Mar/09	7,08	x	x	
13 ^a	Out/09	7,58		x	
14 ^a	Abr/10	8,08		x	
15 ^a	Fev/11	8,91	x	x	
16 ^a	Jul/12	10,25	x	x	

A CAP foi mensurada com o auxílio de fita métrica. Esse valor, posteriormente, foi transformado em diâmetro a 1,30 m do solo (DAP) pela divisão do valor da circunferência pelo valor de π (3,1415...), em virtude do fato de ser mais usual sua utilização na literatura florestal.

Para as árvores que apresentavam bifurcações, ou seja, árvores que apresentavam mais de um fuste foram mensuradas as circunferências de todos os fustes existentes na altura de 1,30 do solo (Figura 5) e, posteriormente, os mesmos foram transformados em diâmetro equivalente ($DAP_{equivalente}$).

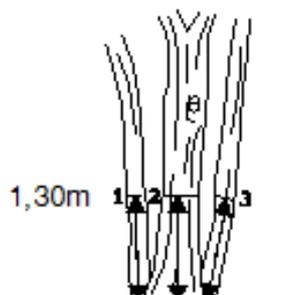


Figura 5: Esquemática do método de medição de árvores bifurcadas.

O $DAP_{equivalente}$ indica o diâmetro a 1,30 m do solo (DAP) que produziria a mesma área seccional que o somatório das áreas seccionais dos vários fustes existentes na árvore bifurcada, sendo calculado conforme a equação abaixo:

$$DAP_{equivalente} = \sqrt{\frac{(CAP_1^2 + CAP_2^2 + \dots + CAP_n^2)}{\pi}}$$

Em que: $DAP_{equivalente}$ representa o diâmetro que produz a mesma área seccional que o somatório dos vários fustes; CAP_i representa a circunferência medida a 1,30m do solo do i-ésimo fuste; π é uma constante dada pela relação entre o perímetro de uma circunferência e seu diâmetro.

A altura total dos indivíduos foi obtida com uso de vara telescópica graduada em centímetros (cm). Para o caso das árvores bifurcadas, foi atribuída como valor único de altura para aquele indivíduo sua altura máxima entre todos os fustes que tiveram seus diâmetros mensurados naquela árvore.

Esse procedimento foi efetuado para se garantir que, com o surgimento de novos fustes em futuras medições, o valor da variável não diminuísse, fato que poderia ocorrer, por exemplo, com a utilização do valor médio da altura.

Com os valores de diâmetro e altura total foi calculado o volume total de cada árvore, utilizando a equação proposta por Scolforo (2008b), para estimativa do volume de árvores de candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish) com casca para a região de Aiuruoca – MG, equação essa que apresenta valores de R^2 ajustado e S_{yx} respectivamente de 98,18% e 21,93%.

A equação utilizada é apresentada a seguir:

$$\ln(VT) = -10,069537 + 1,010656 * \ln(DAP^2 * HT)$$

Em que: DAP é o diâmetro medido a 1,30m do solo; HT é a altura total da árvore; \ln é logaritmo neperiano.

Posteriormente, utilizando a informação sobre diâmetro, mortalidade e sobrevivência, foi calculada a área basal por hectare, dado pelo somatório das áreas seccionais de todas as árvores da subparcela.

Por área seccional entende-se a área da seção transversal, perpendicular ao eixo da árvore, no ponto onde foi feita a medição do diâmetro (1,30 m do solo). A área basal é utilizada para expressar a densidade populacional em um determinado terreno, sendo calculada pela fórmula abaixo:

$$G = \sum_{i=1}^n \frac{\pi * DAP_i^2}{40000}$$

Em que: G é a área basal dada em m^2/ha ; DAP_i é o diâmetro da i -ésima árvore dentro da subparcela; π é uma constante dada pela relação entre o perímetro de uma circunferência e seu diâmetro.

Para a obtenção da área de projeção da copa, foi utilizado o método dos 8 raios de ângulo fixo (SCOLFORO; THIERSCH, 2004). Nesse método a área de projeção da copa é dividida em oito partes, cada uma com um ângulo de 45° .

Assim, em cada vértice do octógono é mensurado o raio da copa e o primeiro vértice é sempre orientado na direção Norte-Sul, conforme Figura 6. Dessa forma, a área da copa é calculada, por meio da soma da área dos 8 triângulos formados pelos 8 raios.

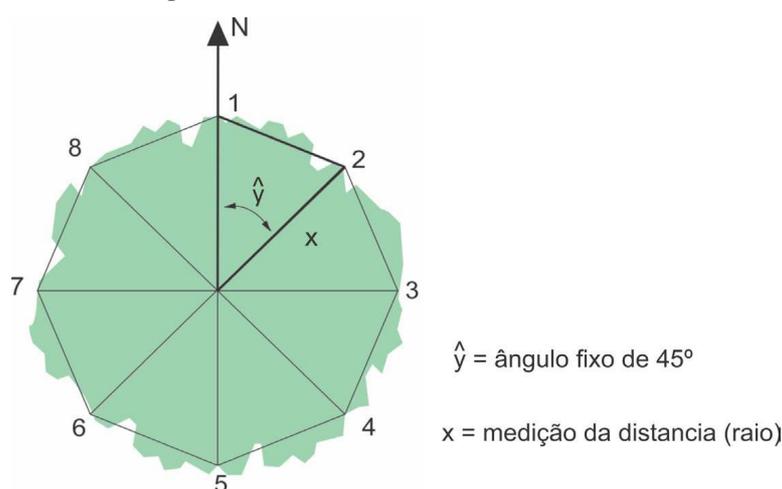


Figura 6: Esquemática da medição de copa pelo método dos 8 raios de ângulo fixo.

O cálculo da área de copa, para cada árvore, foi feito conforme a expressão a seguir:

$$AC = \frac{[(x_1 * x_2) * \text{sen}(y)] + [(x_2 * x_3) * \text{sen}(y)] + \dots + [(x_8 * x_1) * \text{sen}(y)]}{2}$$

Em que: AC é a área do octógono que representa a projeção da copa; x_i é o comprimento do raio da copa; y é ângulo formado por cada triângulo que é sempre igual a 45° .

3.3 Análise do efeito dos tratamentos sob as variáveis de interesse

3.3.1 Análise exploratória

Para a análise exploratória foram calculadas medidas descritivas das variáveis DAP, altura total, área basal, volume, área de projeção de copa e mortalidade.

3.3.2 Análise de variância

Para a análise do efeito dos espaçamentos e da desrama sobre as variáveis dendrométricas, utilizou-se a técnica de análise de variância. A mesma foi realizada, considerando o delineamento em blocos casualizados em esquema de parcela subdividida no tempo com três fatores de variação: espaçamento, desrama e idade, e as respectivas interações de interesse.

O modelo estatístico utilizado pela análise de variância foi:

$$Y_{ikjt} = \mu + t_i + b_j + d_k + (td)_{ik} + n_t + (nt)_{it} + (nd)_{ik} + (ntd)_{itk} + Z_{ikjt} + e_{ijk} + \varepsilon_{ij}$$

Em que: Y_{ikjt} representa a observação do i-ésimo nível do fator espaçamento, no k-ésimo nível do fator desrama, no j-ésimo bloco, na t-ésima idade; μ é a média populacional da variável resposta Y ; t_i é o efeito do i-ésimo nível do fator espaçamento; b_j é o efeito do j-ésimo bloco; d_k é o efeito do k-ésimo fator desrama; $(td)_{ij}$ é o efeito da interação entre o i-ésimo nível de espaçamento e o k-ésimo nível do fator desrama; n_t é o efeito do t-ésimo nível do fator idade; $(nt)_{it}$ é o efeito da interação entre o t-ésimo nível de idade e o i-ésimo nível do fator espaçamento; $(nd)_{ik}$ é o efeito da interação entre o t-ésimo nível de idade e o k-ésimo nível do fator desrama; $(ntd)_{itk}$ é o efeito da interação entre o t-ésimo nível de idade, i-ésimo nível de espaçamento e o k-ésimo nível do fator poda; Z_{ikjt} erro associado à observação Y_{ikjt} a nível do fator idade; e_{ijk} é o erro associado à observação Y_{ijk} a nível do fator desrama e ε_{ij} é o erro

experimental associado à parcela que contém o i -ésimo nível do fator espaçamento no j -ésimo bloco.

Para a análise das variáveis DAP, altura total, área basal, volume e área de projeção da copa, o quadro de análise de variância foi confeccionado de acordo com a Tabela 4. Pode-se observar que os valores dos graus de liberdade são diferentes entre as variáveis. Isso ocorre, pois o número de medições utilizadas para a análise das mesmas não foi sempre igual.

Para as variáveis DAP, Altura Total (Ht), área basal por hectare (G/ha) e volume por hectare (V/ha) foram utilizadas todas as 16 medições ($I=16$). Já para a área de projeção da copa (AC), como foram feitas apenas 7 medições, o valor dos graus de liberdade para o fator idade, nesse caso, foi igual a $7-1=6$.

Tabela 4 – Esquema do quadro de variância para a análise do efeito dos tratamentos, subtratamentos e idade juntamente com os valores de graus de liberdade, para as variáveis dendrométricas analisadas.

Fonte de Variação		Graus de Liberdade	
		DAP e HT	AC
Bloco	B-1	3	3
Espaçamento	E-1	3	3
Erro(a)	(B-1)*(E-1)	9	9
Desrama	D-1	1	1
Desrama * Espaçamento	(B-1)*(D-1)	3	3
Erro(b)	E*(D-1)*(B-1)	12	12
Idade	(I-1)	15	6
Idade * Espaçamento	(E-1)*(I-1)	45	18
Idade * Desrama	(D-1)*(I-1)	15	6
Idade * Espac. * Desrama	(E-1)*(D-1)*(I-1)	45	18
Erro(c)	E*D*(I-1)*(B-1)	360	144
Total	(B*E*D*I)-1	511	223

Em que: B é o número de blocos; E é o número de espaçamento, D é a aplicação ou não da desrama; I é o número de idades onde foram feitas as medições.

O processamento das análises de variância foi realizado no software SISVAR, versão 5.0 (FERREIRA, 2003). Para os casos onde houve diferença significativa pelo teste F, entre os espaçamentos de plantio, entre as desramas, entre idades, ou entre suas iterações foi realizado o procedimento adequado de comparação entre as médias.

Para o fator espaçamento e idade, por se tratarem de fatores quantitativos, foi realizada a análise de regressão. Já para o fator desrama, por se tratar de um fator qualitativo, foi aplicado o teste de média Scott Knott com 5% de significância.

3.4 Modelagem do crescimento

O crescimento das árvores, muitas vezes, é estudado por meio da modelagem, usando como variáveis preditoras as variáveis dendrométricas, a idade ou a concorrência entre as árvores vizinhas.

Neste trabalho, em decorrência da estrutura hierárquica dos dados (medidas repetidas ao longo dos anos submetidas a diferentes regimes de manejo), foi aplicada a metodologia de ajustar os modelos tanto para o crescimento diamétrico, em função da idade, quanto para o crescimento da área de projeção da copa, em função do crescimento diamétrico, seguindo a metodologia de modelos mistos.

Para este estudo, inicialmente, todos os parâmetros do modelo foram considerados inicialmente como de efeitos aleatórios e, posteriormente, modelos em que um até que todos os parâmetros foram considerados puramente como efeitos fixos foram criados.

Os modelos foram estimados, usando o procedimento de máxima verossimilhança, utilizando os pacotes *nlme* e *lme* do R (R DEVELOPMENT

CORE TEAM, 2013). O Teste da Razão de máxima verossimilhança (TRMV), Critério de informação de Akaike (AIC) e o Critério de informação Bayesiano (BIC) foram, então, usados para comparação e escolha do modelo mais apropriado para a análise dos dados em cada uma das situações.

3.4.1 Modelagem do crescimento diamétrico

Para a modelagem do crescimento diamétrico, em função da idade, utilizou-se o modelo de crescimento de Chapman e Richards. O modelo apresentou a seguinte formulação:

$$W = A * (1 - b * e^{-k*t})^{\frac{1}{1-m}}$$

Em que: W é o tamanho do organismo no tempo t ; A é o valor assintótico que o organismo pode atingir; k é a medida relativa da taxa de crescimento do organismo; b reflete a escolha do tempo zero; t é o tempo no qual se quer fazer a estimativa; m expressa a forma da curva.

O objetivo de se ajustar o modelo de crescimento para a variável DAP, em função da idade é que, assim, os valores estimados de DAP poderiam ser utilizados para estimar a área de projeção das copas nas várias idades, permitindo, assim, a realização do manejo, baseado na árvore individual e, por consequência, o conhecimento da porcentagem de ocupação do local.

3.4.2 Modelagem do crescimento da área de projeção da copa

Para a modelagem da área de projeção da copa, foi realizado o ajuste da mesma, em função do diâmetro medido a altura de 1,30 m do solo (DAP), conforme proposto por Nutto (2001), a única diferença em relação à

metodologia proposta por esse autor é que ao em vez de considerar o diâmetro/comprimento da copa foi utilizado como variável dependente a área de projeção da copa.

Para a estimativa da área de projeção da copa, em função de uma variável de fácil obtenção, foi ajustado o modelo linear, por meio de regressão, que estima os valores de AC em relação ao quadrado do valor de DAP (DAP^2), sendo o mesmo ajustado seguindo a metodologia de modelos mistos.

O modelo ajustado é apresentado a seguir:

$$AC = \beta_0 + \beta_1 Dap^2$$

Em que: AC é área de copa; *Dap* é o diâmetro medido a 1,30 m do solo.

3.5 Definição da densidade de árvores por hectare

A equação para a estimativa da área de projeção da copa foi aplicada para se conhecer o espaço vital que cada planta ocupa ao longo da rotação produzindo certo DAP de interesse obtido pelo modelo de crescimento.

Com base nessa informação, foi avaliada a cobertura da área pelas copas das árvores em termos de porcentagem e avaliada a necessidade de intervenção (ocupação pelas copas das árvores maior que 78%).

Por fim, para os casos onde a cobertura da área foi maior que o valor limite proposto por Assmann para a não existência de competição, foi definido o número ideal de árvores por hectare a ser mantido e o número a ser removido, permitindo, assim, que as árvores desenvolvam-se livre de competição.

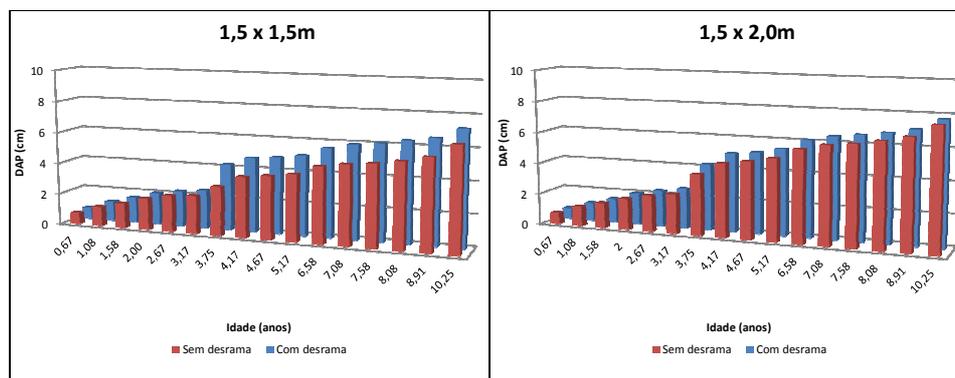
Com essa densidade final, foram prescritas as alternativas de manejo a serem aplicadas em cada tratamento, uma vez que permitiu definir a intensidade e época para possíveis aplicações de desbastes no povoamento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise exploratória

O foco dessa análise foi realizar uma avaliação inicial do comportamento das variáveis dendrométricas DAP, altura total, área de projeção da copa, mortalidade, área basal e volume e em relação aos diferentes tratamentos aplicados, ao longo dos 10,25 anos desde o plantio.

Na Figura 7 é apresentado o comportamento da variável DAP (cm) ao longo dos anos para cada tratamento. As barras azuis indicam as médias dos tratamentos que sofreram desrama enquanto as barras vermelhas apresentam as médias dos tratamentos que não sofreram desrama.



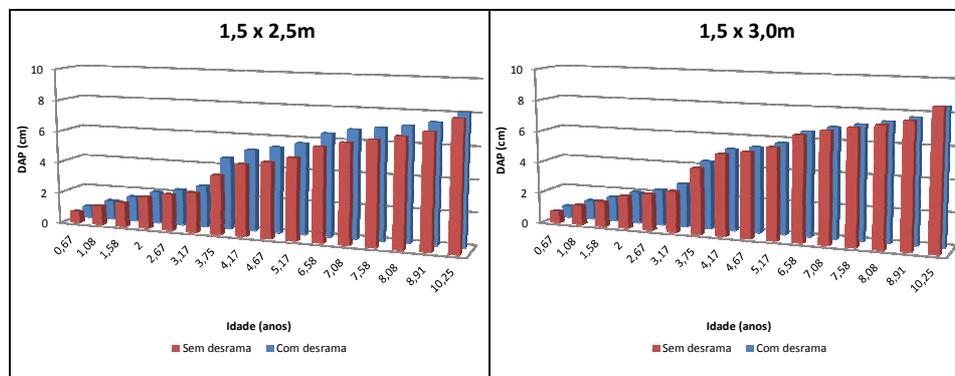


Figura 7: Gráficos para a variável DAP em cada tratamento ao longo dos anos.

É possível observar que a média do DAP sofreu aumento significativo ao longo do tempo em todos os tratamentos. Quando comparado o crescimento da candeia com o de outras espécies nativas, submetidas ao plantio, é possível observar que a mesma apresentou um desenvolvimento satisfatório em DAP.

A Tabela 5 apresenta alguns valores de DAP e Altura total (HT) para diferentes espécies encontradas por diversos autores em idades semelhantes.

Tabela 5 – Valores médios de DAP e HT de algumas espécies nativas e suas respectivas idades.

Espécie	Idade (anos)	DAP (cm)	HT (m)	Fonte
<i>Pterogyne nitens</i>	15	6,80	5,44	Sebbenn et al. (1999)
<i>Cariniana legalis</i>	15	11,39	10,37	Sebbenn et al. (2000)
<i>Gallesia gorarema</i> .	10	13,68	11,01	Sebbenn et al. (2002)
<i>Grevillea robusta</i> A.Cunn	11	14,74	13,01	Sebbenn et al (2003)
<i>Zeyheria tuberculosa</i>	13	16,05	11,65	Souza (2006)
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	10	8,25	7,20	Bertoni e Dickfeldt (2007)
<i>Poecilanthe parviflora</i> Benth	13	11,1	10,64	Lima et al.(2010)

Em relação aos espaçamentos aplicados à candeia, pode-se notar que os maiores valores de DAP ocorreram com o aumento do espaçamento de plantio, o

que é explicado pelo maior espaço vital existente para cada planta e, conseqüentemente, pela menor competição pelos fatores de crescimento, principalmente, água, luz e nutrientes.

O aumento da média dos diâmetros com o aumento do espaçamento de plantio, também, foi documentando por outros trabalhos com as mais variadas espécies nativas e exóticas, podendo citar Klein et al. (1992), trabalhando com *Acacia mearnsii* De Wild, Oliveira (2008) com *Tectona Grandis* L.F., Inoue et al. (2011) com *Pinus taeda* L., Santos (2000) com *Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke.

Quando avaliado o efeito da desrama artificial, dentro de um mesmo espaçamento, a tendência encontrada é de que os tratamentos que sofreram essa intervenção apresentam maiores valores médios de DAP, o que pode ser visto, principalmente, aos 3,17 anos (6 meses após a aplicação da 2ª intervenção de desrama).

Isso ocorreu, provavelmente, porque a desrama concentrou o crescimento da candeia em um, ou poucos fustes, enquanto nos tratamentos não desramados o mesmo ficou distribuído em vários galhos finos, já que a bifurcação é uma característica da espécie.

Em relação aos dados presentes na literatura, para a candeia nativa, Pérez (2001) e Pérez et al. (2004) determinaram, por análise de tronco, que as árvores pertencentes à classe de diâmetro de 5-10 cm, com DAP médio de 7,37cm, têm, em média, 18 anos de idade, já Mori et al. (2009), trabalhando em duas áreas com média de DAP de 6,80 cm e 6,90 cm, encontraram idades médias de 34 anos e 24 anos, respectivamente.

Isto mostra o potencial de desenvolvimento da candeia plantada, já que seu crescimento em DAP aos 10,25 anos se equipara ao de árvores nativas com idades entre 18 e 34 anos, com exceção para o menor espaçamento 1,5 x 1,5 m quando não é aplicada a desrama.

A Figura 8 apresenta o desenvolvimento da variável altura total (m) ao longo dos anos para cada tratamento com e sem desrama.

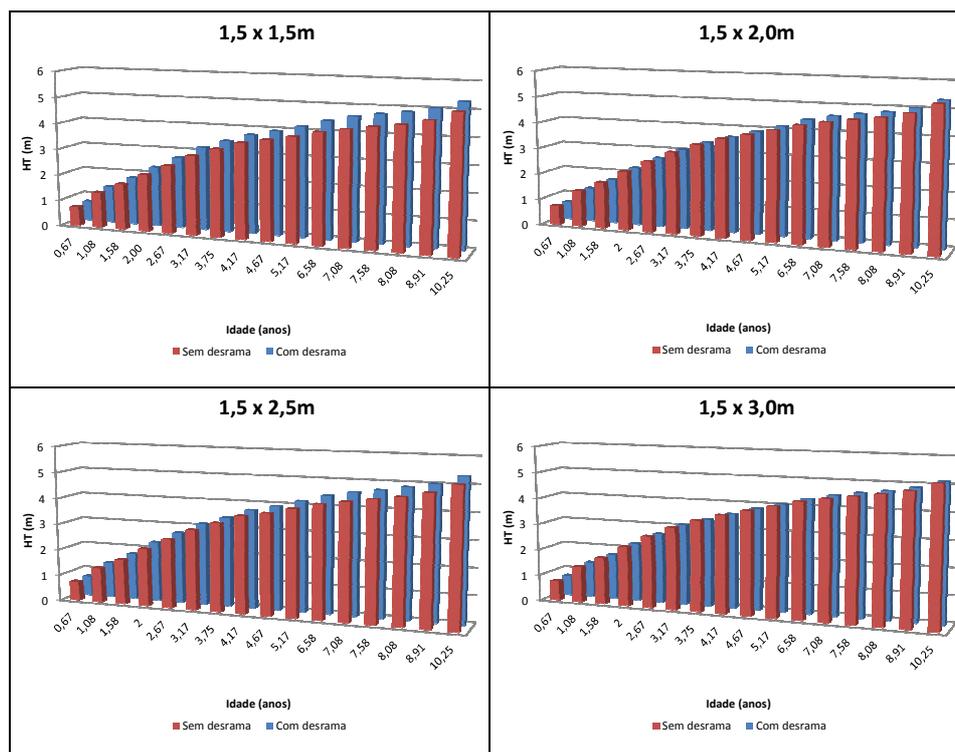


Figura 8: Gráficos para a variável HT em cada tratamento ao longo dos anos.

Para a variável altura total, é possível observar que a candeia apresentou valores bem abaixo aos relatados para outras espécies nativas submetidas ao plantio (Tabela 5).

Contudo, essas comparações devem ser feitas com cautela, pois se deve considerar que há muitas variáveis envolvidas no crescimento em altura de uma árvore, como diferenças nas características ecológicas das espécies, nas condições do solo, diferenças genéticas, nas condições climáticas entre outras.

Diferentemente do DAP, não foram notadas, visualmente, diferenças entre os espaçamentos de plantio e o crescimento em altura para candeia, a exemplo dos resultados encontrados por Zuba Juniot et al. (2010), para as espécies nativas *Acacia mangium*, *Senna multijuga* e *Leucaena leucocephal* e por Inoue et al. (2011), trabalhando com *Pinus taeda* L.. Esses resultados ajudam a confirmar os relatos encontrados na literatura de que essa variável é pouco afetada por fatores silviculturais.

Já quanto à aplicação ou não da desrama artificial, é notado que as árvores que sofreram desrama apresentam médias de alturas ligeiramente maiores do que as que não sofreram tal tratamento.

Isso, provavelmente, ocorreu em razão ao fato de que, com a remoção de parte da área foliar causada pela desrama, houve a necessidade da árvore de recuperar essa superfície foliar perdida, estimulando, assim, o crescimento em altura pela ativação dos meristemas apicais.

Peréz (2001) e Peréz et al. (2004) encontraram para a classe de diâmetro de 5 -10 cm, em um candeal nativo, valores médios de 6,61m. Camolesi (2007) e Scolforo et al. (2008c) encontraram, para a mesma classe de diâmetro, no município de Delfim Moreira, uma altura média de 6,64 m, em Aiuruoca a altura média foi de 6,68 m e em Ouro Preto de 6,13 m. Nesse caso as médias das alturas para a candeia plantada aos 10,25 anos são menores que as encontradas para a candeia nativa.

A Figura 9 apresenta os gráficos para a variável área de projeção da copa (m²) em relação à cada idade de medição dessa variável.

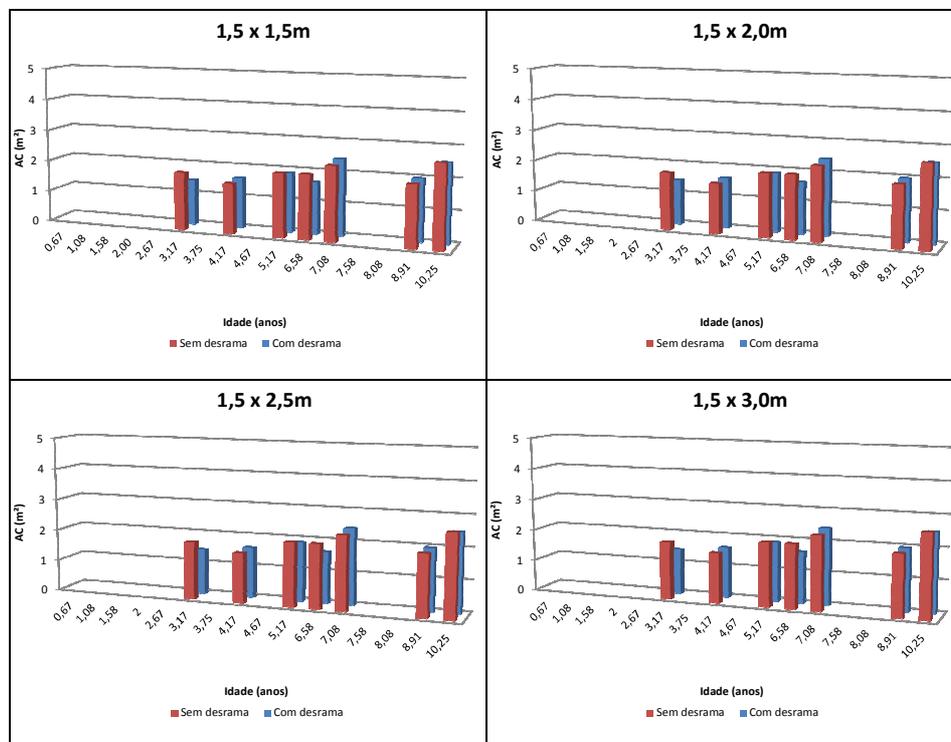


Figura 9: Gráficos para a variável área de projeção da copa em cada tratamento ao longo dos anos.

Para a área de projeção da copa (AC), foi notado um aumento da variável em relação ao aumento do espaçamento de plantio, uma resposta lógica das árvores à maior área útil existente para expansão das copas.

Essa maior área de copa foi responsável por uma maior interceptação de luz e uma consequente maior produção de fotoassimilados, que levaram as árvores dos maiores espaçamentos a obterem maiores médias de DAP.

Em relação à desrama, para os maiores espaçamentos, foram notadas diferenças entre os valores de AC, onde os tratamentos não desramados apresentavam maiores valores.

A explicação para esse fato se dá pela remoção de parte da copa viva causada pela desrama artificial. Nos menores espaçamentos essa tendência não é tão nítida uma vez que, como o espaço vital é muito reduzido, as AC são menores e como consequência a remoção de área foliar é pequena e não é significativa, dessa forma, os valores médios não se diferem.

A Figura 10 apresenta, nas colunas, os valores para a mortalidade em porcentagem da candeia no decorrer dos anos para cada tratamento.

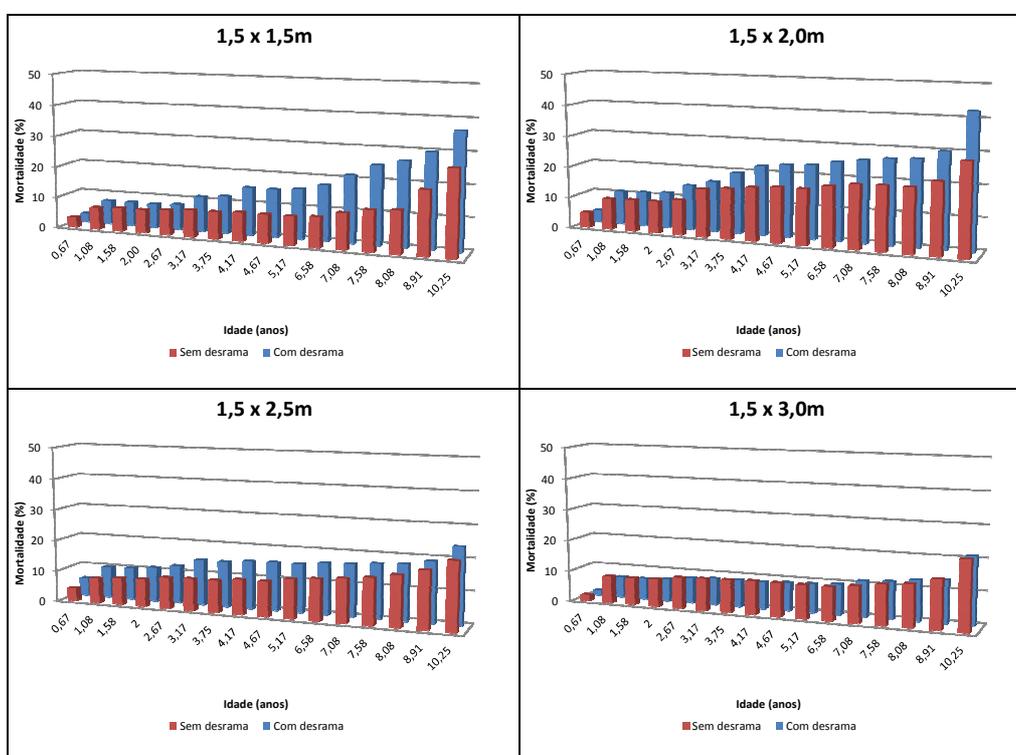


Figura 10: Valores para a mortalidade em porcentagem em cada tratamento ao longo dos anos.

É notado um aumento gradual da mortalidade, com o passar do tempo, porém esse aumento foi mais significativo nos menores espaçamentos, refletindo o efeito da maior competição existente nos mesmos.

Schneider et al. (2005), analisando dados de mortalidade de árvores de *Acacia mearnsii*, encontraram alta correlação entre a mortalidade e a idade, indicando que, para rotações mais longas a tendência é de aumento da mortalidade e, também, alta correlação com o espaçamento de plantio, indicando que quanto maior for o espaçamento, menor é a taxa mortalidade, esse efeito, também, foi notado para a candeia.

Comparando essa mortalidade com as encontradas por Morais (2006), trabalhando com híbrido natural de *Eucalyptus camaldulensis* com *Eucalyptus Urophylla* no espaçamento 3 x 2 m aos 7 anos, o híbrido apresentou mortalidade de 12 %, valor muito próximo ao encontrado para a candeia nos maiores espaçamentos para essa mesma idade, já em relação aos menores espaçamentos a mortalidade da candeia foi, significativamente, maior.

Em relação a espécies nativas Sato et al. (2008) encontraram uma mortalidade de 46% para *Aspidosperma polyneuron*, no espaçamento 3,0 x 3,0 m aos 42 anos, Daronco et al. (2010) para *Vochysia tucanorum* Mart com 3 anos nesse mesmo espaçamento encontraram 32%, Melo, Durigan e Kawabata(2004) para *Terminalia glabrescens* Mart. 1 ano após o plantio encontraram 31% e Lima et al. (2010) encontraram 41% para *Poecilanthe parviflora* Benth aos 42 anos.

Dessa forma, a mortalidade para a candeia pode ser considerada praticamente igual à de culturas de eucalipto, para os espaçamentos 1,5 x 2,5 e 1,5 x 3,0 m, enquanto para os demais a mortalidade é considerada baixa para os padrões de espécies nativas sob plantio sem o mesmo melhoramento genético das culturais comerciais mais populares.

Já, quando avaliado o efeito da desrama, pode-se observar maiores valores de mortalidade para os espaçamentos que sofreram desrama, a única exceção ocorreu para o maior espaçamento (1,5 x 3,0 m) onde os valores de mortalidade foram praticamente iguais.

Como a desrama é uma intervenção que gera estresse no povoamento é de se esperar uma maior mortalidade quando a mesma é aplicada. Assim, pode-se afirmar que o somatório da competição mais intensa que ocorreu nos menores espaçamentos com o estresse gerado pela desrama foi prejudicial à sobrevivência das árvores.

A Figura 11 apresenta o desenvolvimento da variável área basal por hectare (m^2/ha) da candeia no decorrer dos anos para cada tratamento.

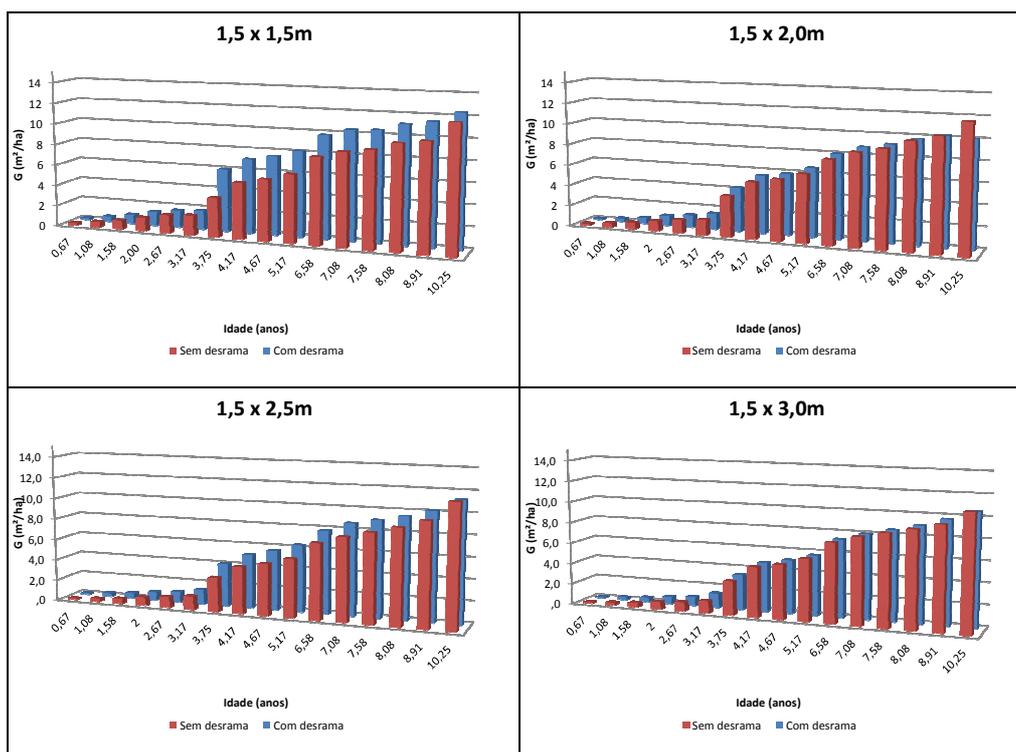


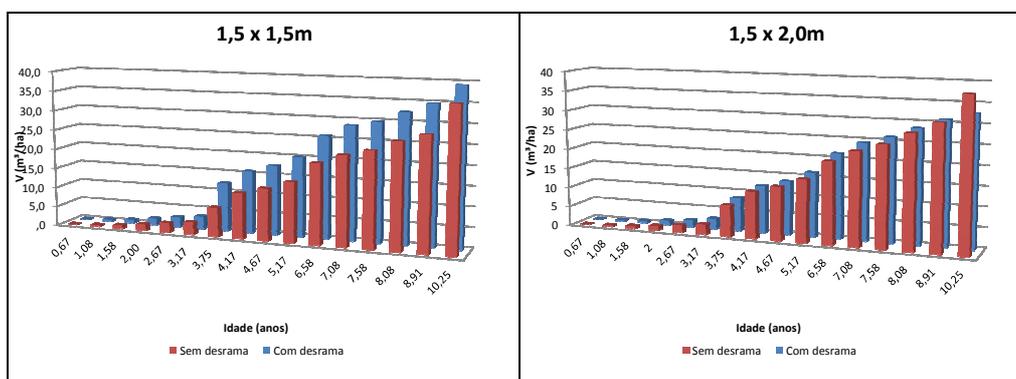
Figura 11: Gráficos para a variável área basal em cada tratamento ao longo dos anos.

Com relação à área basal por hectare, é notada uma diminuição gradual da área basal com o aumento do espaçamento de plantio, assim, pode-se afirmar que o aumento de diâmetro teoricamente proporcionado pelos maiores espaçamentos não foi suficiente para superar o fato de que nesses espaçamentos o número de árvores é menor.

A desrama apresentou efeito variável em relação à área basal para todos os espaçamentos. Até os 2 anos de idade não foram notadas diferenças entre os tratamentos desramados e não desramados. Com base nesse ponto, é notada uma tendência de aumento da área basal com a aplicação da desrama, que é explicada pelos ganhos obtidos na variável DAP.

Porém nos espaçamentos 1,5 x 1,5m e 1,5 x 2,0 m nas ultimas idades se observa uma diminuição da área basal, gerada, principalmente, pela alta mortalidade ocorrida nos últimos anos.

A Figura 12 apresenta os gráficos para a variável volume por hectare (m^3/ha) em relação à cada idade de medição dessa variável.



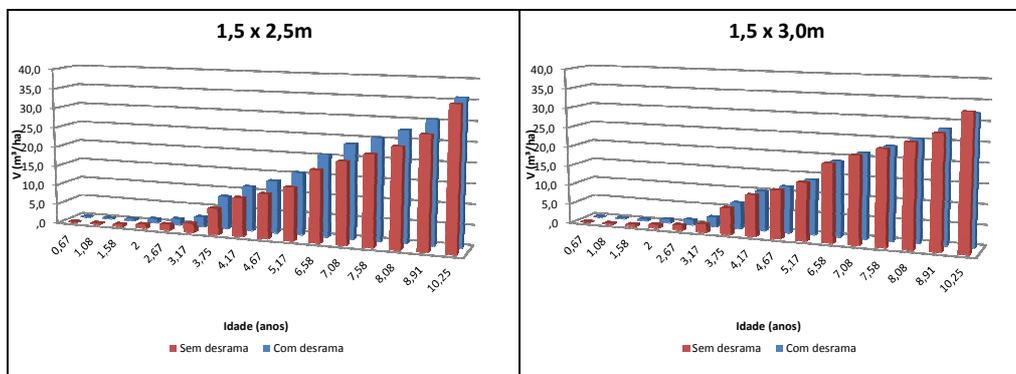


Figura 12: Gráficos para a variável volume por hectare em cada tratamento ao longo dos anos.

Em relação ao volume por hectare, notam-se valores muito semelhantes entre todos os espaçamentos. Dessa forma, o maior incremento em diâmetro dos maiores espaçamentos compensou o menor número de indivíduos por hectare.

Esse resultado pode ter ocorrido, pois a mortalidade nos menores espaçamentos afetou a produção volumétrica total. Considerando, ainda, que os custos de implantação nos menores espaçamentos são maiores, deve-se preferir o plantio em maiores espaçamentos, principalmente, para produção de moirões.

Já em relação à desrama é notado, para os espaçamentos 1,5 x 1,5 m e 1,5 x 2,5 m, que os tratamentos que sofreram desrama apresentam maiores médias de volume.

4.2 Análise de variância

A análise de variância foi realizada com o intuito de se avaliar, estaticamente, os efeitos dos espaçamentos de plantio, desrama e da idade sobre as variáveis dendrométricas da candeia.

A Tabela 6 resume os resultados encontrados pela análise de variância para as variáveis DAP, altura total, volume/ha e G/ha.

Tabela 6 – Resumo da análise de variância para os valores das variáveis DAP, altura total, volume/ha e G/ha em relação ao espaçamento, desrama e idade.

Fonte de variação	GL	QM			
		DAP	HT	V/ha	G/ha
Espaçamento	3	13,6	* 0,08	159,65	28,77 *
Bloco	3	0,79	0,59	63,47	7,47
Erro 1	9	1,68	0,3	90,96	5,08
Desrama	1	11,02	* 0,94	161,28	* 13,27 *
Espaçamento*Desrama	3	2,14	0,41	86,71	7,79 *
Erro 2	12	1,45	0,22	28,4	2,49
Idade	15	175,46	* 59,99	* 4642,75	* 505,86 *
Idade * Espaçamento	45	0,59	* 0,01	4,71	0,51
Idade * Desrama	15	0,43	* 0,04	* 9,51	* 1,1 *
Idade * Espaçamento *	45	0,09	0,01	4,13	0,39
Desrama					
Erro 3	360	0,12	0,02	4,92	0,42
Total corrigido	511				
CV 1%		29,75	15,89	57,97	43,73
CV 2%		27,63	13,71	39,56	30,64
CV 3%		7,86	3,81	16,47	12,64
Média geral		4,36	3,45	13,47	5,15

QM: quadrado médio; * significância ao nível de probabilidade de 5%.

Com a análise de variância para a variável DAP (cm) demonstraram existir diferenças significativas entre os Espaçamentos, Desrama e as Idades de medição, além disso, as interações entre Idade e Espaçamento e Idade e Desrama, também, foram consideradas significativas, estatisticamente, a um nível de significância de 5%.

Dessa forma, rejeitou-se H0 concluindo-se que pelo menos um dos níveis dos fatores em questão se difere dos demais. Por outro lado, a inserção

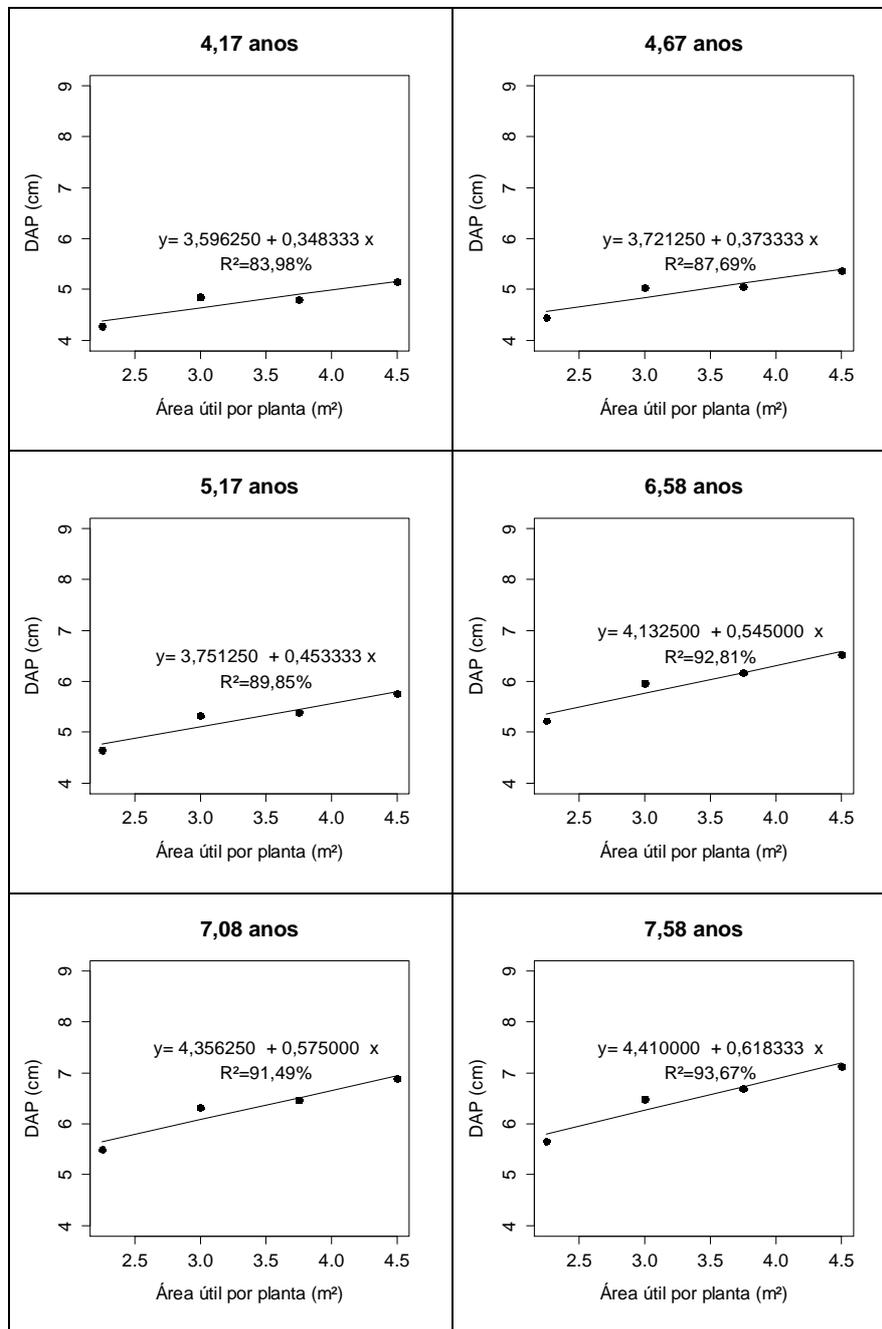
dos Blocos não se mostrou necessária, uma vez que o mesmo não apresentou efeito significativo para o DAP nem para as outras variáveis analisadas.

Silva (2009) encontrou significância para o efeito da Desrama e para interação entre Espaçamentos e Desrama, contudo sua análise contemplou os dados até a idade de 6,58 anos, e foi feita utilizando o delineamento de parcelas subdivididas, omitindo o efeito da idade na análise. Altoé (2012), a exemplo do presente trabalho, utilizando apenas os dados para 8,91 anos, também, encontrou significância para o fator Espaçamento.

Como a interação entre o fator Idade, como os fatores Espaçamento e Desrama foram consideradas significativas para a variável DAP, foi realizado o desdobramento dos mesmos dentro de cada nível do fator Idade.

Pelos resultados da interação entre Espaçamento e Idade infere-se que somente com a partir da idade de 4,17 anos as diferenças entre as médias de DAP foram consideradas significativas. Por esse resultado explica-se que até essa idade o espaçamento de plantio não é um fator limitante ao crescimento das árvores. Contudo com 4,17 anos, os efeitos dos espaçamentos já começam a ser notados sobre as médias de DAP.

Na Figura 13 apresentam-se os ajustes dos modelos de regressão para a variável DAP, em função da área útil por planta para as idades entre 4,17 e 10,25 nos. As áreas úteis 2,25; 3,00; 3,75 e 4,50 m² são referentes, respectivamente, aos espaçamentos 1,5 x 1,5; 1,5 x 2,0; 1,5 x 2,5 e 1,5 x 3,0 m.



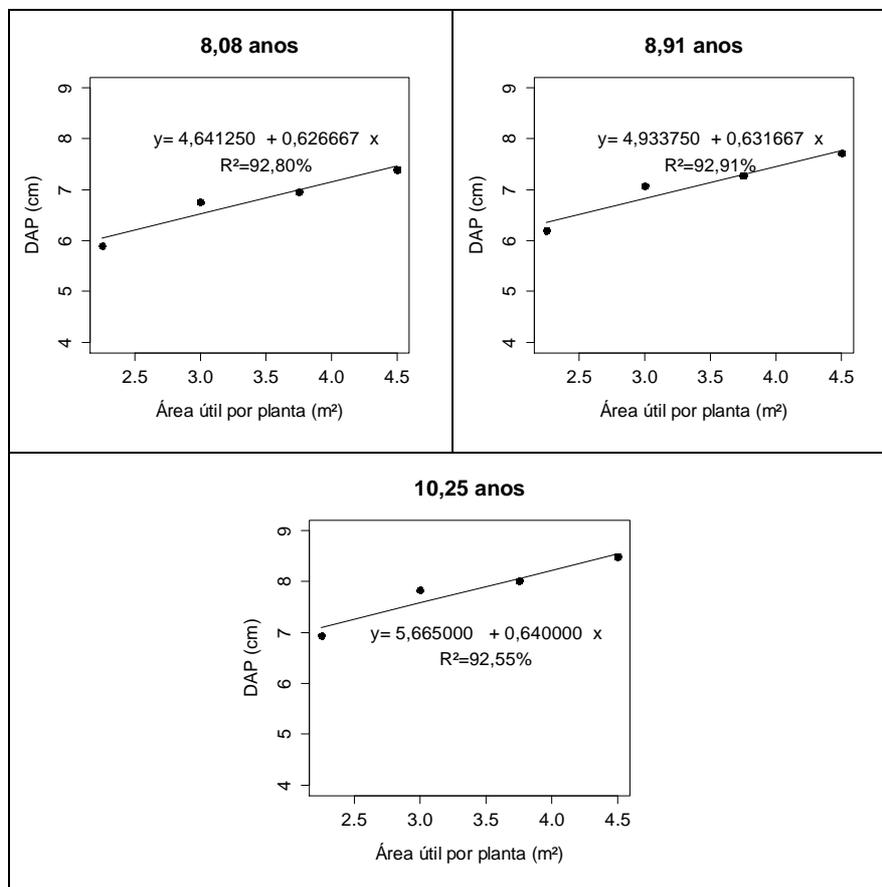


Figura 13: Ajustes dos modelos de regressão para a estimativa do DAP em relação à área útil por planta, para cada idade, onde a diferença foi significativa.

Com o comportamento da variável DAP houve efeito de acréscimo linear com o aumento da área útil e os menores espaçamentos resultaram nas menores médias de DAP.

Com o passar dos anos, é possível observar, pela inclinação das retas, que as diferenças entre os espaçamentos se intensificaram, mostrando que realmente a competição pelos fatores produtivos limitou o crescimento das árvores nos menores espaçamentos.

Pelos resultados da interação entre Desrama e Idade deduz-se que as diferenças entre as médias dos DAP, em relação à aplicação da desrama, foram significativas entre as idades 3,75 e 8,91 anos, onde os tratamentos que sofreram a mesma apresentaram médias maiores e, estatisticamente, diferentes.

Como o fator desrama apresenta apenas 1 grau de liberdade a realização do teste de médias não é necessária, uma vez que a simples constatação de que existem diferenças entre as médias já é suficiente para saber que a maior média é diferente da menor.

As diferenças entre as médias só foram significativas com 3,75 anos, 6 meses após a segunda aplicação da desrama. Dessa forma, pode-se afirmar que, na segunda intervenção, a desrama já produziu árvores com maiores diâmetros, em virtude do melhor balanço energético e concentração do potencial produtivo já discutido anteriormente.

Pela análise de variância para a variável altura total (HT) observou-se que existem diferenças significativas a um nível de significância de 5% entre os níveis de Idade, além da interação entre Idade e Desrama.

Já os demais fatores não foram considerados significativos, estatisticamente, o que já era esperado, pois como discutido anteriormente a altura total não é tão influenciada pelo espaçamento de plantio.

Silva (2009) verificou que não houve diferença estatística entre os Espaçamentos de plantio, contudo a interação entre o Espaçamento de plantio e as Desrama foram significativas. Altoé (2012) observou que a altura total das plantas não foi influenciada pela densidade de plantio, mas a desrama provocou um aumento significativo desta variável.

Como a interação entre o fator Idade e Desrama foi considerada significativa para altura total, foi realizado o desdobramento do fator Desrama dentro de cada nível do fator Idade.

Os resultados da interação entre Desrama e Idade indicam que apenas com a idade 6,58 anos houve diferença entre as médias das alturas em relação aos tratamentos que sofreram e que não sofreram desrama, onde os tratamentos desramados apresentaram maiores médias.

Como dito anteriormente, esse estímulo ao crescimento em altura pode ser efeito da necessidade da árvore em recuperar a superfície foliar removida pelas desramas e essa recuperação favoreceu o crescimento em altura.

Silva (2009), para *Eremanthus erythropappus*, Floriano (2004), estudando o efeito da desrama no crescimento de *Pinus elliottii*, e Finger et al. (2001), para *Eucalyptus saligna*, verificaram que esta não interferiu no crescimento em altura. Springmann; Rogers e Spiecker (2011), também, concluíram que a desrama não influenciou na altura. Já Pires, Reis e Reis (2002) afirma que as árvores de *Eucalyptus grandis* desramadas cresceram menos.

Por esses resultados verifica-se que os efeitos da desrama não são tão claros, onde a resposta depende da forma como a mesma é realizada, principalmente, em termos de intensidade e da capacidade do povoamento em recuperar a área foliar removida.

Para a variável volume (m^3/ha), pela análise de variância deduzem-se diferenças significativas em um nível de significância de 5% entre os fatores Desrama e Idade, além da interação entre os mesmos.

Pelo desdobramento da interação entre Idade e Desrama, para as idades 3,75; 5,17; 6,58; 7,08; 7,58; 8,08 e 8,91anos, houve diferenças significativas entre as médias volumétricas por hectare, onde os tratamentos que sofreram a desrama apresentaram maiores médias.

Com a análise de variância para a área basal - G (m^2/ha) constata-se que existem diferenças significativas entre Espaçamentos, Desrama e as Idades de medição, além da interação entre Idade e Desrama.

Por meio da análise da regressão para área basal, em função do Espaçamento, confirma-se que ocorre um decréscimo da mesma em relação ao aumento do espaçamento de plantio (Figura 14).

Essa redução é um reflexo do menor número de plantas por hectare que existe na área com o aumento do espaçamento de plantio, uma vez que do menor espaçamento (1,5 x 1,5 m) para o maior espaçamento (1,5 x 3,0 m) ocorre uma redução de 4.444 plantas por hectare para 2.222 plantas por hectare (50%).

Logo, mesmo que nos maiores espaçamentos a média do DAP seja maior, essa maior média não foi suficiente para compensar a redução no número de plantas e esse resultado está de acordo com os resultados encontrados por Passos, Bufulin Junior e Gonçalves (2006), trabalhando com *Tectona grandis*.

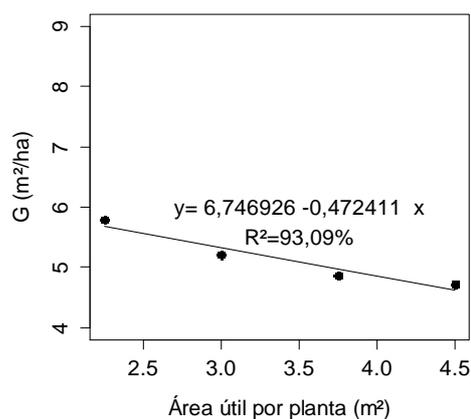


Figura 14: Ajustes do modelo de regressão para a estimativa da área basal em relação à área útil por planta.

Como a interação entre os fatores Idade e Desrama foi considerada significativa, foi realizado o desdobramento da mesma. Pelos resultados da interação conclui-se que apenas existem diferenças significativas entre as médias de área basal para as idades entre 3,75 e 7,58 anos.

Para essas idades, as maiores médias de área basal ocorrem nos tratamentos com desrama, isso pode ser explicado pelos ganhos obtidos em diâmetro com a aplicação desse tratamento.

Com a análise de variância para a área de projeção da copa – AC (m²) infere-se que existem diferenças significativas (5%) entre Espaçamentos de plantio, Desrama e as Idades de medição, além disso, as interações entre Desrama e Espaçamento e Idade e Espaçamento, também, foram significativas.

O resumo dos resultados encontrados pela análise de variância é apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – Resumo da análise de variância para os valores de área de projeção de copa (m²), em relação ao espaçamento, desrama e idade para a candeia.

Fonte de variação	GL	QM AC	
Espaçamento	3	13,39	*
Bloco	3	0,24	
Erro 1	9	0,57	
Desrama	1	7,74	*
Espaçamento*Desrama	3	1,19	*
Erro 2	12	0,27	
Idade	6	8,49	*
Idade * Espaçamento	18	0,31	*
Idade * Desrama	6	0,25	
Idade * Espaçamento * Desrama	18	0,05	
Erro 3	144	0,14	
Total corrigido	223		
CV 1%		28,92	
CV 2%		19,94	
CV 3%		14,17	
Média geral		2,60	

QM: quadrado médio; * significância ao nível de probabilidade de 5%.

Mediante o desdobramento da interação entre os fatores Espaçamento e Desrama, verifica-se que existem diferenças significativas entre as médias da

AC em relação aos níveis de espaçamentos de plantio tanto para os tratamentos que sofreram desrama quanto para os que não sofreram, a Figura 15 apresenta os modelos de regressão ajustados.

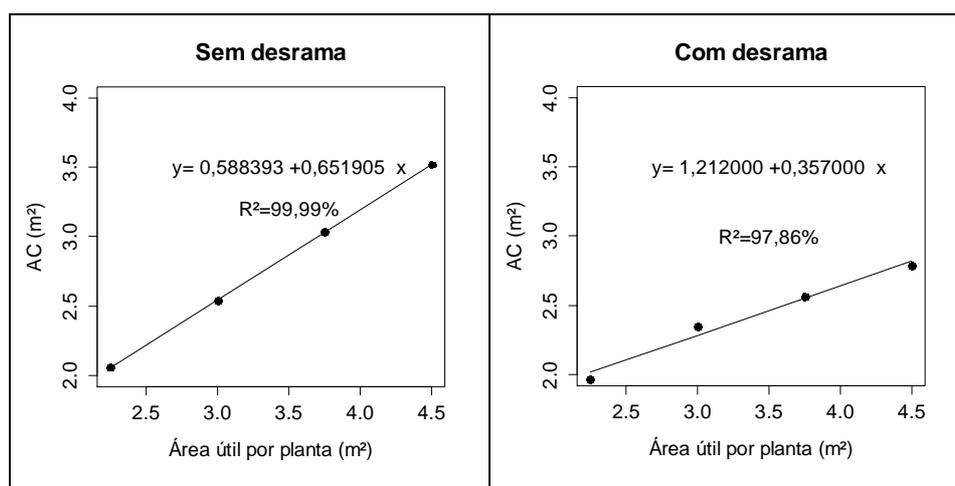


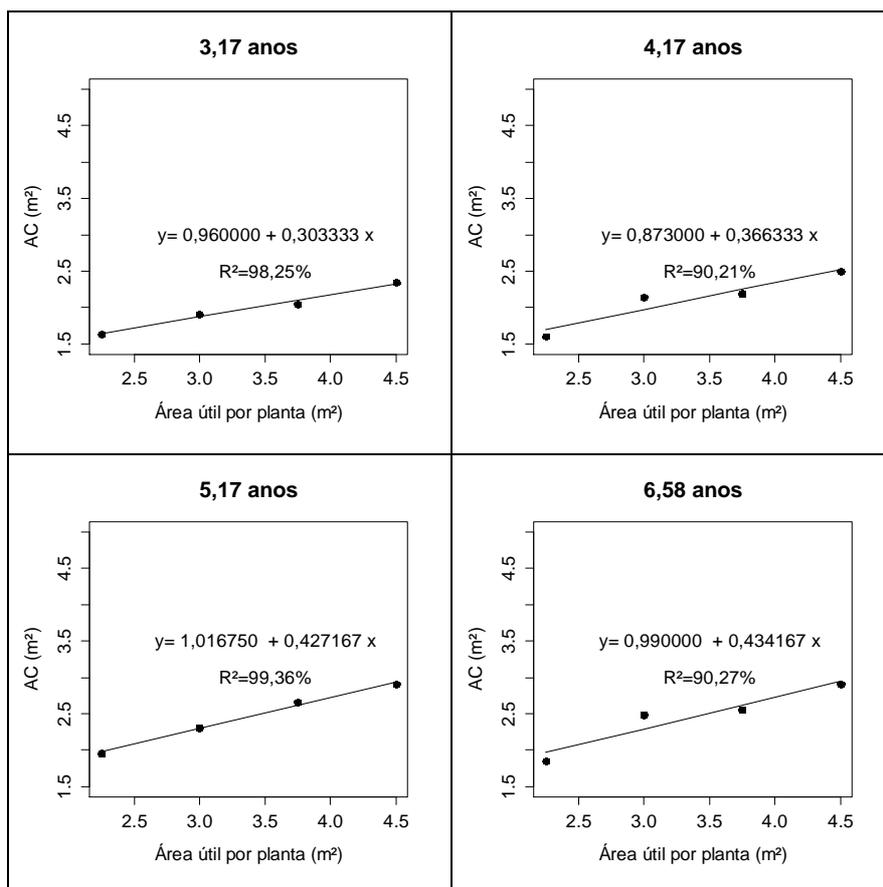
Figura 15: Ajustes do modelo de regressão para a estimativa da área de projeção da copa em relação à área útil por planta.

Pelos tratamentos desramados ressaltam-se áreas de projeção das copas menores em torno de 4,6%; 8,1%; 18,3% e 26,2%, respectivamente, para os espaçamentos 1,5 x 1,5; 1,5 x 2,0; 1,5 x 2,5 e 1,5 x 3,0 m.

Por esse resultado salienta-se que a redução da área foliar, causada pela desrama, foi adequada não reduzindo em mais que 25% a superfície fotossintética das plantas e, conseqüentemente, não comprometendo o crescimento das mesmas com a sua aplicação.

Pelo desdobramento da interação entre os fatores Espaçamento e Idade, deduz-se que existem diferenças significativas entre as médias da AC em relação aos níveis de espaçamentos de plantio para todas as idades de medição.

A Figura 16 apresenta os ajustes dos modelos de regressão para a variável área de projeção da copa em função da área útil por planta para as idades de 3,17 a 10,25 anos.



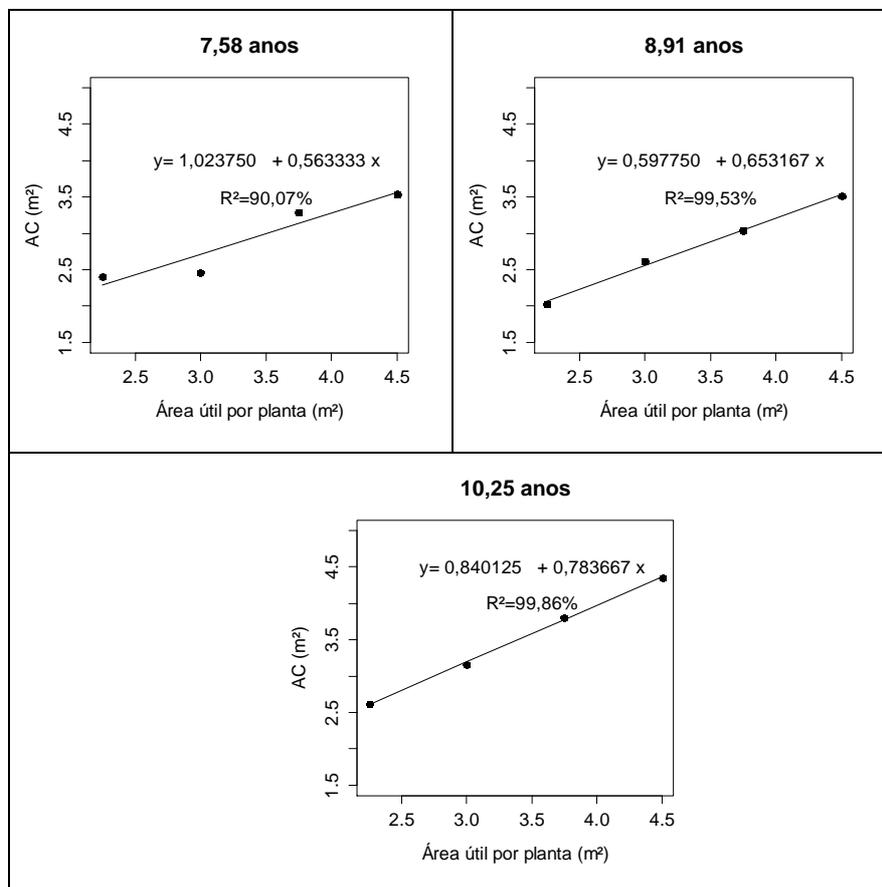


Figura 16: Ajustes dos modelos de regressão para a estimativa da área de projeção da copa em relação à área útil por planta para cada idade.

Observou-se que o comportamento da variável área de copa apresentou efeito de acréscimo linear com o aumento da área útil por planta e os menores espaçamentos resultaram nas menores médias de AC, isso ocorre em razão da existência de um menor espaço para o desenvolvimento.

Leite et al.(1997), trabalhando com *Eucalyptus grandis* encontraram resultados semelhantes. Os mesmos autores, ainda, afirmam que a maior área de copa nos espaçamentos mais amplos é a principal característica responsável pelo

maior crescimento dessas plantas, já que muitas variações da produção acontecem por causa das variações em relação à interceptação de luz.

4.3 Modelagem do crescimento diamétrico

Para o ajuste do modelo de Chapman e Richards, inicialmente, considerou-se, para cada parâmetro, um componente fixo para os efeitos dos tratamentos e um componente aleatório para captar a variabilidade entre os indivíduos submetidos a cada um dos tratamentos. Em seguida, foram removidos de um a um os parâmetros do efeito aleatório até que todas as combinações possíveis tivessem sido realizadas.

A Tabela 8 apresenta quais parâmetros tiveram seus efeitos considerados aleatórios em cada um dos 7 modelos, juntamente com as estatísticas utilizadas para a comparação dos mesmos: Critério de informação de Akaike (AIC), Critério de informação Bayesiano (BIC) e o valor do Logaritmo da Máxima verossimilhança (Log Lik).

Tabela 8 – Resumo das estatísticas de comparação para os modelos ajustados pela metodologia de modelos mistos para o crescimento do DAP em função da idade submetidos a diferentes tratamentos.

Modelo	GL	Efeito Aleatório	AIC	BIC	Log Lik
1	10	β_0, β_1 e β_2	183507,3	183595,4	-91743,66
2	7	β_1 e β_2	183501,3	183563,0	-91743,66
3	5	β_2	184890,6	184934,6	-92440,28
4	5	β_1	183998,9	184042,9	-91994,45
5	5	β_0	183647,0	183691,0	-91818,47
6	7	β_0 e β_1	183565,1	183626,8	-91775,56
7	7	β_0 e β_2	183540,4	183602,1	-91763,21

Pelas estatísticas o modelo escolhido foi o modelo 2 que considerou os efeitos aleatórios sobre os parâmetros β_1 e β_2 , já que o mesmo apresentou os menores valores de AIC (183501,3), BIC (183563,0) e o maior valor de Log Lik (-91743,66).

Dessa forma, pode afirmar que os tratamentos tiveram efeito sobre o parâmetro de escala (β_1) que está intimamente relacionado com a taxa de crescimento das árvores e com o parâmetro relacionado à inflexão (β_2) que é o parâmetro que reflete a forma da curva e marca a alteração na fase de crescimento das plantas do crescimento inicial acelerado para a fase onde o ritmo de crescimento decresce.

Em relação aos resultados do ajuste do modelo 2 (modelo selecionado), a Tabela 9 apresenta os valores dos parâmetros estimados, do desvio padrão de β_1 e β_2 , correlação entre β_1 e β_2 , além dos limites inferior e superior do intervalo de confiança para os mesmos.

Tabela 9 – Resumo dos resultados do ajuste do modelo selecionado pela metodologia de modelos mistos para o crescimento do DAP em função da idade submetidos a diferentes tratamentos.

Parâmetro	LI	Valor Estimado	LS
β_0	9,0846951	9,2429941	9,4012931
β_1	-0,2429383	-0,2066099	-0,1702815
β_2	1,2497417	1,4293224	1,6089031
sd(β_1)	0,03043922	0,05077307	0,08469025
sd(β_2)	0,15064669	0,25263523	0,4236705
cor(β_1, β_2)	-0,99878343	-0,9934914	-0,9655757
S_{yx}	1,53741	1,54703	1,55670

O valor relativamente pequeno do erro padrão do parâmetro β_1 (0,03), em relação o de β_2 (0,15), pode ser uma evidência de que tal parâmetro não apresenta tanta influência sobre o efeito aleatório.

Os intervalos de confiança referentes às estimativas dos parâmetros e ao erro padrão da estimativa se mostraram relativamente pequenos, indiciando que os erros associados a essas estimativas são baixos, sugerindo, assim, estimativas confiáveis.

Os valores dos parâmetros β_0 , β_1 e β_2 , para cada tratamento, são apresentados na Tabela 10. Observa-se que os valores de β_0 são iguais para todos os tratamentos, já que o efeito do mesmo foi considerado fixo.

Tabela 10 – Valores dos parâmetros β_0 , β_1 e β_2 para cada tratamento do modelo selecionado pela metodologia de modelos mistos para o crescimento do DAP em função da idade.

Tratamento		β_0	β_1	β_2
1,5 x 1,5 m	Sem Poda	9,242994	-0,1072991	0,9665149
1,5 x 1,5 m	Com Poda	9,242994	-0,1659229	1,1883525
1,5 x 2,0 m	Sem Poda	9,242994	-0,1874871	1,3272517
1,5 x 2,0 m	Com Poda	9,242994	-0,2124146	1,4389406
1,5 x 2,5 m	Sem Poda	9,242994	-0,2023390	1,4391196
1,5 x 2,5 m	Com Poda	9,242994	-0,2449166	1,5936103
1,5 x 3,0 m	Sem Poda	9,242994	-0,2675539	1,7566610
1,5 x 3,0 m	Com Poda	9,242994	-0,2649459	1,7241284

De acordo com Scolforo (2006), o valor de β_2 tende a ser menor nas maiores densidades, indicando que o ponto de inflexão ocorre muito cedo nestas. Já o valor de β_1 tende a ser maior, já que os indivíduos em menores densidades, normalmente, alcançam maiores dimensões.

A Figura 17 apresenta os valores estimados de DAP em relação à idade do povoamento pelo modelo 2 para cada tratamento.

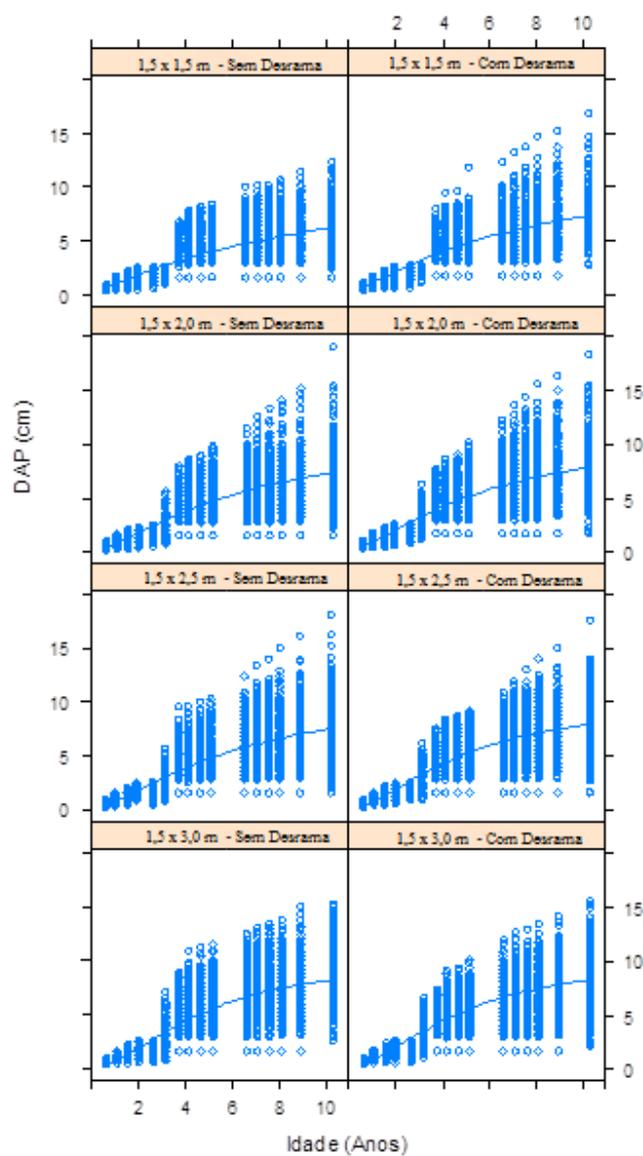


Figura 17: Valores estimados de DAP em relação à idade do povoamento em anos para cada tratamento.

4.4 Modelagem da área de projeção de copa

Para a modelagem do crescimento da área de projeção da copa seguindo-se a mesma metodologia descrita anteriormente, inicialmente considerou para cada parâmetro um componente fixo para os efeitos dos tratamentos e um componente aleatório. Em seguida, foram removidos de um a um os parâmetros do efeito aleatório até que todas as combinações possíveis tivessem sido realizadas.

A Tabela 11 apresenta quais parâmetros tiveram seus efeitos considerados aleatórios em cada um dos 7 modelos, juntamente com as estatísticas utilizadas para a comparação dos mesmos: Critério de informação de Akaike (AIC), Critério de informação Bayesiano (BIC) e o valor do Logaritmo da Máxima verossimilhança (Log Lik).

Tabela 11 – Resumo das estatísticas de comparação para os modelos ajustados pela metodologia de modelos mistos para o crescimento da AC em função do DAP submetidos a diferentes tratamentos.

Modelo	GL	Efeito Aleatório	AIC	BIC	Log Lik
1	6	β_0 e β_1	60771,85	60819,5	-30379,93
2	4	β_0	60841,58	60873,34	-30416,79
3	4	β_1	61731,63	61763,4	-30861,82

Pelas estatísticas o modelo escolhido foi o modelo 1 que considerou todos os parâmetros como sob efeitos aleatórios, já que o mesmo apresentou os menores valores de AIC (60771,85), BIC (60819,5) e o maior valor de Log Lik (-30379,93).

Dessa forma, pode afirmar que os tratamentos tiveram efeito sobre o parâmetro de intercepto (β_0) e sobre o de escala (β_1) que está intimamente relacionado com a taxa de crescimento das árvores.

Em relação aos resultados do ajuste do modelo 1 (modelo selecionado), a Tabela 12 apresenta os valores dos parâmetros estimados, do desvio padrão de β_0 e β_1 , correlação entre β_0 e β_1 , além dos limites inferior e superior do intervalo de confiança para os mesmos.

Tabela 12 – Resumo dos resultados do ajuste do modelo selecionado pela metodologia de modelos mistos para o crescimento da AC em função do DAP submetidos a diferentes tratamentos.

Parâmetro	LI	Valor Estimado	LS
β_0	1,1569077	1,42712451	1,69734132
β_1	0,0283123	0,03018769	0,03206309
sd(β_0)	0,231932153	0,388566743	0,650983971
sd(β_1)	0,001488967	0,002613268	0,004586517
cor(β_0, β_1)	-0,439400611	-0,145440359	0,176656745
S_{yx}	1,032556	1,042530	1.052600

O valor relativamente pequeno do erro padrão do parâmetro β_1 (0,001) em relação ao de β_0 (0,23) pode ser uma evidência de que tal parâmetro não apresenta tanta influência sobre o efeito aleatório, o que faz sentido já que o intercepto apenas mede o quanto os dados são não lineares não passando pela origem.

Os intervalos de confiança referentes às estimativas do parâmetro β_1 e ao erro padrão da estimativa se mostraram relativamente pequenos, indiciando que os erros associados a essas estimativas são baixos, sugerindo, assim, estimativas confiáveis.

Os valores dos parâmetros β_0 e β_1 para cada tratamento são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 – Valores dos parâmetros β_0 e β_1 para cada tratamento do modelo selecionado pela metodologia de modelos mistos para o crescimento da AC em função do DAP.

Tratamento		β_0	β_1
1,5 x 1,5 m	Sem Poda	1,2122820	0,03315637
1,5 x 1,5 m	Com Poda	0,9411892	0,02970979
1,5 x 2,0 m	Sem Poda	1,6097919	0,02474258
1,5 x 2,0 m	Com Poda	1,1481956	0,02932045
1,5 x 2,5 m	Sem Poda	1,8604802	0,03014336
1,5 x 2,5 m	Com Poda	1,2035727	0,03177627
1,5 x 3,0 m	Sem Poda	2,0715486	0,03124670
1,5 x 3,0 m	Com Poda	1,3699359	0,03140604

Observando o valor de β_1 é possível perceber que o mesmo tende a ser maior nas menores densidades, indicando que a inclinação da reta é maior e, conseqüentemente, os indivíduos apresentam maiores dimensões.

A Figura 18 apresenta os valores estimados de AC em função do DAP pelo modelo 1 para cada tratamento.

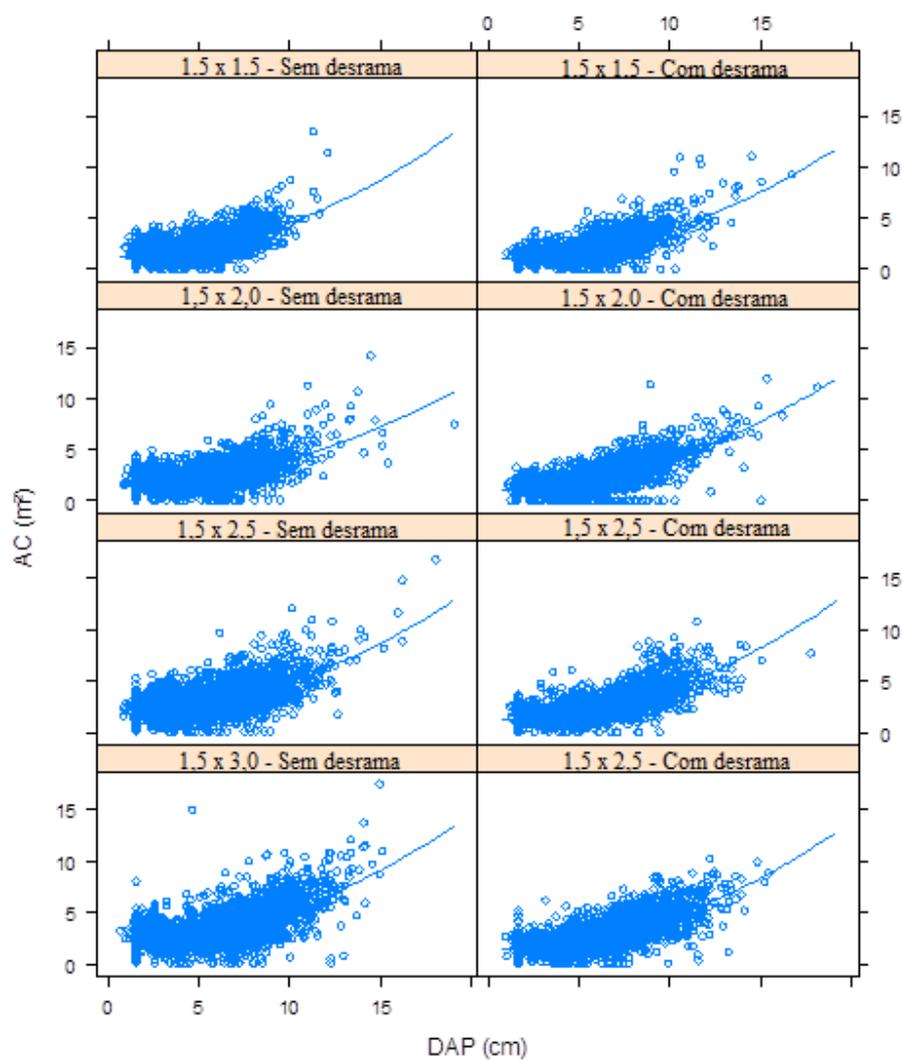


Figura 18: Valores estimados de AC em função de DAP para cada tratamento.

4.5 Manejo baseado na árvore individual

Para realização do manejo, baseado na árvore individual, fez-se uso das estimativas de diâmetro geradas pelo modelo de Chapman e Richards em função da idade.

Em seguida, esse valor de diâmetro serviu como variável independente para o modelo de estimativa da área de copa, assim, conseguiu-se estimar a ocupação do local pelas áreas das copas em cada idade do plantio.

Seguindo a metodologia apresentada por Assmann (1970), para cada espaçamento e idades onde o valor de ocupação superou os 78%, definidos como a época de intervenção, para que não haja competição, foi calculado o número de plantas a serem removidas de forma a manter o crescimento livre.

Dessa maneira, as tabelas a seguir apresentam o número máximo de plantas suportadas pela área em cada espaçamento e idade, juntamente com uma prescrição do desbaste a ser realizada, que consiste na aplicação do somatório da remoção aplicada ao longo dos anos, no primeiro ano onde o valor de ocupação ultrapassou os 78%.

A Tabela 14 apresenta os resultados encontrados para o espaçamento 1,5 x 1,5m sem desrama.

Tabela 14 - Número de indivíduos por hectare para o tratamento 1,5 x 1,5 m sem desrama.

Idade	DAP (cm)	AC (m²)	N/ha	Rem. (N/ha)	Rem. (%)	Área ocupada (%)	N/ha	Rem. (N/ha)	Área ocupada (%)
1	1,0	1,25	4444	-	-	55,4	4444	-	55,4
2	1,9	1,33	4444	-	-	59,1	4444	-	59,1
3	2,7	1,45	4444	-	-	64,3	4444	-	64,3
4	3,3	1,58	4444	-	-	70,3	4444	-	70,3
5	4,0	1,73	4444	-	-	76,9	4444	-	76,9
6	4,5	1,88	4142	303	6,8	78,0	2555	1889	48,1
7	5,0	2,04	3829	312	7,5	78,0	2555	-	52,0
8	5,4	2,19	3565	264	6,9	78,0	2555	-	55,9
9	5,8	2,33	3342	223	6,3	78,0	2555	-	59,6
10	6,2	2,47	3153	189	5,6	78,0	2555	-	63,2
11	6,5	2,61	2993	160	5,1	78,0	2555	-	66,6
12	6,8	2,73	2857	136	4,5	78,0	2555	-	69,8
13	7,0	2,85	2741	116	4,1	78,0	2555	-	72,7
14	7,2	2,95	2641	100	3,6	78,0	2555	-	75,5
15	7,4	3,05	2555	86	3,3	78,0	2555	-	78,0
Total			2555	1889	42,5	78,0			

Em que: Rem. é o número de plantas removidas.

Para o tratamento 1,5 x 1,5 m sem desrama, até a idade de 5 anos, o povoamento apresentava um índice de ocupação abaixo dos 78%, aos 6 anos esse valor foi superado sendo necessária a remoção de 303 plantas/ha, para manter a ocupação abaixo desse limiar.

Ao fim dos 15 anos, idade definida como próxima da rotação final para a candeia, a densidade final deveria ser de 2555 plantas/ha. Como a aplicação de desbastes anuais seria inviável economicamente, sugere-se, então, a aplicação da intensidade total de remoção (42,5%), no primeiro ano onde houve mais de 78% de ocupação total (6 anos).

A Tabela 15 apresenta os resultados encontrados para o espaçamento 1,5 x 1,5m com desrama.

Tabela 15 - Número de indivíduos por hectare para o tratamento 1,5 x 1,5 m com desrama

Idade	DAP (cm)	AC (m²)	N/ha	Rem. (N/ha)	Rem. (%)	Área ocupada (%)	N/ha	Rem. (N/ha)	Área ocupada (%)
1	1,0	0,97	4444	-	-	43,1	4444	-	43,1
2	2,1	1,07	4444	-	-	47,4	4444	-	47,4
3	3,0	1,22	4444	-	-	54,0	4444	-	54,0
4	3,9	1,40	4444	-	-	62,0	4444	-	62,0
5	4,7	1,59	4444	-	-	70,7	4444	-	70,7
6	5,3	1,79	4360	85	1,9	78,0	2594	1850	46,4
7	5,9	1,98	3937	422	9,7	78,0	2594	-	51,4
8	6,4	2,16	3609	329	8,4	78,0	2594	-	56,1
9	6,8	2,33	3351	258	7,1	78,0	2594	-	60,4
10	7,2	2,48	3148	203	6,1	78,0	2594	-	64,3
11	7,5	2,61	2985	162	5,1	78,0	2594	-	67,8
12	7,8	2,73	2855	130	4,4	78,0	2594	-	70,9
13	8,0	2,84	2750	105	3,7	78,0	2594	-	73,6
14	8,2	2,93	2664	86	3,1	78,0	2594	-	75,9
15	8,3	3,01	2594	70	2,6	78,0	2594	-	78,0
Total			2594	1850	41,6	78,0			

Para o tratamento 1,5 x 1,5 m com desrama, nota-se que o valor máximo de ocupação foi atingido no mesmo ano que o mesmo espaçamento sem a aplicação da desrama (6 anos), contudo o valor de ocupação era menor, o que refletiu em uma menor remoção (85 plantas/ha), isso se deve ao fato da desrama remover parte da copa e, dessa maneira, diminuir a ocupação da área.

Ao fim dos 15 anos seria necessária uma remoção de 41,6%, para que o povoamento fosse conduzido sem competição, valor, praticamente, igual ao encontrado anteriormente.

A Tabela 16 apresenta os resultados encontrados para o espaçamento 1,5 x 2,0 m sem desrama.

Tabela 16 - Número de indivíduos por hectare para o tratamento 1,5 x 2,0 m sem desrama.

Idade	DAP (cm)	AC (m²)	N/ha	Rem. (N/ha)	Rem. (%)	Área ocupada (%)	N/ha	Rem. (N/ha)	Área ocupada (%)
1	0,9	1,63	3333	-	-	54,3	3333	-	54,3
2	2,0	1,06	3333	-	-	35,2	3333	-	35,2
3	3,0	1,21	3333	-	-	40,4	3333	-	40,4
4	4,0	1,41	3333	-	-	46,9	3333	-	46,9
5	4,8	1,62	3333	-	-	54,0	3333	-	54,0
6	5,5	1,84	3333	-	-	61,2	3333	-	61,2
7	6,1	2,05	3333	-	-	68,2	3333	-	68,2
8	6,6	2,24	3333	-	-	74,7	3333	-	74,7
9	7,0	2,42	3229	105	3,1	78,0	2521	813	60,9
10	7,4	2,57	3032	197	6,1	78,0	2521	-	64,8
11	7,7	2,71	2878	154	5,1	78,0	2521	-	68,3
12	8,0	2,83	2757	121	4,2	78,0	2521	-	71,3
13	8,2	2,93	2660	97	3,5	78,0	2521	-	73,9
14	8,4	3,02	2583	77	2,9	78,0	2521	-	76,1
15	8,5	3,09	2521	62	2,4	78,0	2521	-	78,0
Total			2521	813	24,4	78,0			

Para o tratamento 1,5 x 2,0 m sem desrama, nota-se que o valor máximo de ocupação foi atingido aos 9 anos, 3 anos após o espaçamento anterior. Ao fim dos 15 anos, seria necessária uma remoção de 24,4%, para que o povoamento

fosse conduzido sem competição, quase a metade da remoção sugerida para o espaçamento anterior.

A Tabela 17 apresenta os resultados encontrados para o espaçamento 1,5 x 2,0 m com desrama.

Tabela 17 - Número de indivíduos por hectare para o tratamento 1,5 x 2,0 m com desrama.

Idade	DAP (cm)	AC (m ²)	N/ha	Rem. (N/ha)	Rem. (%)	Área ocupada (%)	N/ha	Rem. (N/ha)	Área ocupada (%)
1	0,9	1,17	3333	-	-	39,0	3333	-	39,0
2	2,0	1,27	3333	-	-	42,2	3333	-	42,2
3	3,1	1,44	3333	-	-	47,9	3333	-	47,9
4	4,1	1,65	3333	-	-	55,0	3333	-	55,0
5	5,0	1,89	3333	-	-	62,9	3333	-	62,9
6	5,8	2,12	3333	-	-	70,8	3333	-	70,8
7	6,4	2,35	3324	9	0,3	78,0	2317	1016	54,4
8	6,9	2,55	3060	265	8,0	78,0	2317	-	59,1
9	7,3	2,73	2858	201	6,6	78,0	2317	-	63,2
10	7,7	2,88	2704	154	5,4	78,0	2317	-	66,8
11	8,0	3,02	2585	119	4,4	78,0	2317	-	69,9
12	8,2	3,13	2492	93	3,6	78,0	2317	-	72,5
13	8,4	3,22	2419	73	2,9	78,0	2317	-	74,7
14	8,6	3,30	2362	57	2,4	78,0	2317	-	76,5
15	8,7	3,37	2317	45	1,9	78,0	2317	-	78,0
Total			2317	1016	30,5	78,0			

Para o tratamento 1,5 x 2,0 m com desrama, o valor máximo de ocupação, também, foi atingido aos 7 anos, 2 anos antes do que o mesmo espaçamento, quando não sofreu desrama, contudo, o número de árvores a serem removidas aos 7 anos foi, praticamente, desprezível (9 plantas/ha).

Ao fim dos 15 anos, seria necessária uma remoção de 30,5%, para que o povoamento fosse conduzido sem competição, valor um pouco maior que o encontrado quando ocorre a aplicação da desrama.

Essa maior intensidade de remoção se deve ao fato de que as áreas de projeção das copas, nesse espaçamento, são maiores que as encontradas no mesmo espaçamento sem a aplicação da desrama artificial. Contudo, o mais lógico seria que as mesmas fossem menores já que a aplicação da desrama deveria reduzir a área foliar e não aumentá-la.

A Tabela 18 apresenta os resultados encontrados para o espaçamento 1,5 x 2,5 m sem desrama.

Tabela 18 - Número de indivíduos por hectare para o tratamento 1,5 x 2,5 m sem desrama.

Idade	DAP (cm)	AC (m ²)	N/ha	Rem. (N/ha)	Rem. (%)	Área ocupada (%)	N/ha	Rem. (N/ha)	Área ocupada (%)
1	0,8	1,88	2667	-	-	50,1	2667	-	50,1
2	1,9	1,97	2667	-	-	52,5	2667	-	52,5
3	3,0	2,13	2667	-	-	56,7	2667	-	56,7
4	4,0	2,33	2667	-	-	62,2	2667	-	62,2
5	4,8	2,56	2667	-	-	68,3	2667	-	68,3
6	5,6	2,79	2667	-	-	74,5	2667	-	74,5
7	6,2	3,02	2585	82	3,1	78,0	1905	762	57,5
8	6,7	3,22	2419	165	6,4	78,0	1905	-	61,4
9	7,2	3,41	2288	132	5,4	78,0	1905	-	64,9
10	7,5	3,57	2183	104	4,6	78,0	1905	-	68,0
11	7,8	3,71	2100	83	3,8	78,0	1905	-	70,7
12	8,1	3,83	2034	66	3,1	78,0	1905	-	73,0
13	8,3	3,94	1981	53	2,6	78,0	1905	-	75,0
14	8,5	4,02	1939	42	2,1	78,0	1905	-	76,6
15	8,6	4,10	1905	34	1,8	78,0	1905	-	78,0
Total			1905	762	28,6	78,0			

Para o tratamento 1,5 x 2,5 m sem desrama, o valor máximo de ocupação foi superado os 7 anos, com 82 plantas a serem removidas por hectare para controlar a competição

Ao fim dos 15 anos, seria necessária uma remoção de 28,6%, para que o povoamento fosse conduzido sem competição, intensidade muito próxima às encontradas para espaçamento 1,5 x 2,0 m, mostrando que a competição nos mesmos é muito semelhante.

A Tabela 19 apresenta os resultados encontrados para o espaçamento 1,5 x 2,5 m com desrama.

Tabela 19 - Número de indivíduos por hectare para o tratamento 1,5 x 2,5 m com desrama.

Idade	DAP (cm)	AC (m ²)	N/ha	Rem. (N/ha)	Rem. (%)	Área ocupada (%)	N/ha	Rem. (N/ha)	Área ocupada (%)
1	0,8	1,22	2667	-	-	32,7	2667	-	32,7
2	2,0	1,34	2667	-	-	35,6	2667	-	35,6
3	3,3	1,54	2667	-	-	41,1	2667	-	41,1
4	4,4	1,81	2667	-	-	48,2	2667	-	48,2
5	5,3	2,10	2667	-	-	56,0	2667	-	56,0
6	6,1	2,38	2667	-	-	63,6	2667	-	63,6
7	6,7	2,65	2667	-	-	70,5	2667	-	70,5
8	7,3	2,88	2667	-	-	76,7	2667	-	76,7
9	7,7	3,07	2538	129	4,8	78,0	2105	561	64,7
10	8,0	3,24	2408	130	5,1	78,0	2105	-	68,2
11	8,3	3,38	2311	97	4,0	78,0	2105	-	71,1
12	8,5	3,49	2237	74	3,2	78,0	2105	-	73,4
13	8,6	3,58	2181	56	2,5	78,0	2105	-	75,3
14	8,8	3,65	2138	43	2,0	78,0	2105	-	76,8
15	8,9	3,70	2105	33	1,5	78,0	2105	-	78,0
Total			2105	561	21,0	78,0			

Para o tratamento 1,5 x 2,5m com desrama, o valor máximo de ocupação somente foi atingido aos 9 anos, 2 anos após o mesmo espaçamento sem a aplicação da desrama.

Ao fim dos 15 anos, seria necessária uma remoção de 21,0 %, para que o povoamento fosse conduzido sem competição, valor menor que o encontrado para o mesmo espaçamento sem a aplicação da desrama.

Nesses dois últimos tratamentos, pode-se notar a tendência lógica de ocupação esperada para mesmos espaçamentos, com a aplicação e não aplicação da desrama artificial.

Quando submetidas à desrama, as árvores apresentam maiores valores de diâmetro, contudo a área de projeção da copa é menor, já que a desrama acaba controlando o desenvolvimento das copas, pois parte da área foliar é removida.

Como consequência, a competição, principalmente por luz, é minimizada, levando a uma menor ocupação da área, sendo possível manter um maior número de plantas por hectare.

A Tabela 20 apresenta os resultados encontrados para o espaçamento 1,5 x 3,0 m sem desrama.

Tabela 20 - Número de indivíduos por hectare para o tratamento 1,5 x 3,0 m sem desrama.

Idade	DAP (cm)	AC (m²)	N/ha	Rem. (N/ha)	Rem. (%)	Área ocupada (%)	N/ha	Rem. (N/ha)	Área ocupada (%)
1	0,7	2,09	2222	-	-	46,4	2222	-	46,4
2	2,0	2,19	2222	-	-	48,7	2222	-	48,7
3	3,3	2,40	2222	-	-	53,4	2222	-	53,4
4	4,4	2,68	2222	-	-	59,6	2222	-	59,6
5	5,4	2,99	2222	-	-	66,4	2222	-	66,4
6	6,2	3,29	2222	-	-	73,0	2222	-	73,0
7	6,9	3,56	2193	29	1,3	78,0	1705	517	60,6
8	7,4	3,79	2057	136	6,2	78,0	1705	-	64,6
9	7,8	3,99	1956	101	4,9	78,0	1705	-	68,0
10	8,2	4,15	1880	76	3,9	78,0	1705	-	70,7
11	8,4	4,28	1823	57	3,0	78,0	1705	-	72,9
12	8,6	4,38	1780	43	2,3	78,0	1705	-	74,7
13	8,7	4,46	1748	32	1,8	78,0	1705	-	76,1
14	8,9	4,53	1723	24	1,4	78,0	1705	-	77,2
15	9,0	4,58	1705	19	1,1	78,0	1705	-	78,0
Total			1705	517	23,3	78,0			

Para o tratamento 1,5 x 3,0 m sem desrama, o valor máximo de ocupação foi atingido aos 7 anos. Ao fim dos 15 anos, seria necessária uma remoção de 23,3 % (517 plantas/ha), para que o povoamento fosse conduzido sem competição, valor muito próximo aos encontrados anteriormente.

A Tabela 21 apresenta os resultados encontrados para o espaçamento 1,5 x 3,0 m com desrama.

Tabela 21 - Número de indivíduos por hectare para o tratamento 1,5 x 3,0 m com desrama.

Idade	DAP (cm)	AC (m²)	N/ha	Rem. (N/ha)	Rem. (%)	Área ocupada (%)	N/ha	Rem. (N/ha)	Área ocupada (%)
1	0,7	1,39	2222	-	-	30,8	2222	-	30,8
2	2,0	1,50	2222	-	-	33,2	2222	-	33,2
3	3,3	1,71	2222	-	-	38,0	2222	-	38,0
4	4,4	1,99	2222	-	-	44,2	2222	-	44,2
5	5,4	2,29	2222	-	-	51,0	2222	-	51,0
6	6,2	2,59	2222	-	-	57,6	2222	-	57,6
7	6,9	2,86	2222	-	-	63,6	2222	-	63,6
8	7,4	3,10	2222	-	-	68,8	2222	-	68,8
9	7,8	3,29	2222	-	-	73,2	2222	-	73,2
10	8,1	3,45	2222	-	-	76,7	2222	-	76,7
11	8,4	3,58	2177	46	2,1	78,0	2009	214	72,0
12	8,6	3,69	2115	61	2,8	78,0	2009	-	74,1
13	8,7	3,77	2070	46	2,2	78,0	2009	-	75,7
14	8,9	3,83	2035	35	1,7	78,0	2009	-	77,0
15	8,9	3,88	2009	26	1,3	78,0	2009	-	78,0
Total			2009	214	9,6	78,0			

Para o tratamento 1,5 x 3,0 m com desrama, o valor máximo de ocupação somente foi atingido aos 11 anos, quatro anos após o mesmo espaçamento sem desrama. Ao fim dos 15 anos, seria necessária uma remoção de apenas 9,6 %, para que o povoamento fosse conduzido sem competição.

De forma geral, existe uma dúvida quanto à eficiência desses desbastes propostos por não se se conhecer a resposta real das árvores à aplicação dos mesmos.

As recomendações aqui propostas levam em conta que o ritmo de crescimento não seria tão alterado, pelo fato de se tratar de uma espécie de crescimento não tão acelerado, contudo é de ser esperar que pequenas alterações

no ritmo de crescimento ocorram com a aplicação dos desbastes e liberação de espaço para o crescimento, principalmente, nos espaçamentos não adensados.

Um ponto favorável à aplicação de desbastes, em povoamentos com candeia plantada, é que mesmo para o menor espaçamento, se optando por realizar um único desbaste na idade, onde o valor de ocupação é superado pela primeira vez, a média de diâmetro seria igual a 4,5 e 5,3 cm, respectivamente, sem e com a aplicação da desrama.

Logo, parte do produto do desbaste já teria mercado podendo ser negociado para a extração de óleo, já que o diâmetro mínimo para a extração é de 3 cm. O mesmo fato é notado para os demais espaçamentos onde os diâmetros médios, no momento da aplicação do desbaste, variam de 6,2 a 8,4 cm.

Outro ponto que justifica a aplicação de desbastes para plantios de candeia é a alta variabilidade genética existente, assim, árvores com melhores fenótipos poderiam ser selecionadas para serem remanescentes enquanto as piores poderiam ser removidas pelo desbaste no caso da aplicação de desbastes seletivos.

5 CONCLUSÕES

Pelos resultados de pesquisa deduz-se que, em relação às variáveis dendrométricas, a média do DAP e da área de projeção da copa apresentam acréscimo com o aumento do espaçamento de plantio, já a altura total e volume por hectare não foram influenciados, enquanto a mortalidade e a área basal por hectare diminuem.

A desrama artificial, dentro de um mesmo espaçamento, proporciona árvores com maiores valores médios de DAP, altura total e volume por hectare, além de proporcionar maiores valores de mortalidade, principalmente, considerando os 3,17 anos. A área de projeção da copa é menor, quando a mesma é aplicada, enquanto os efeitos sobre a área basal não são tão claros.

Com a análise de variância para a variável DAP constatou-se existir diferenças significativas entre os Espaçamentos de plantio, Desrama e as Idades de medição, além das interações entre Idade e Espaçamento e Idade e Desrama.

Pela variável altura total (HT) verificou-se que existem diferenças entre os níveis de Idade, além da interação entre Idade e Desrama. O volume por hectare foi influenciado pelos fatores Desrama e Idade, além da interação entre os mesmos. Área Basal foi influenciada por Espaçamentos de plantio, Desrama e as Idades de medição, além da interação entre Idade e Desrama.

Por fim, com a área de projeção da copa (AC) ressaltaram-se diferenças significativas entre os Espaçamentos de plantio, Desrama e as Idades de medição, além das interações entre Desrama e Espaçamento e Idade e Espaçamento.

A modelagem do crescimento da variável DAP, utilizando a metodologia de modelos mistos sobre o modelo de Chapman e Richards se mostrou eficiente e tal metodologia proposta pode ser utilizada em um grande número de aplicações na ciência florestal, em que a modelagem estiver presente.

No modelo de Chapman e Richards selecionado para estimativa do crescimento diamétrico foram considerados como efeitos aleatórios os parâmetros β_1 e β_2 . Já na modelagem da área de copa, com base no modelo quadrático, consideraram-se todos os parâmetros como sob efeitos aleatórios.

Verificou-se a necessidade de se incluir os efeitos fixos e os aleatórios nas estimativas uma vez que o ajuste isolado dos modelos levava as estimativas sem consistência com os efeitos dos tratamentos, uma vez que os valores estimados de DAP, para os menores espaçamentos, eram maiores que para os maiores espaçamentos, por exemplo.

O manejo, baseado na árvore individual, leva à conclusão de que é necessário diminuir a densidade de plantas de forma a se produzir árvores com maiores diâmetros.

As árvores sujeitas à desrama e que crescem mais em diâmetro, serão sujeitas a desbastes mais tardios do que as árvores não sujeitas à desrama e com crescimento mais lento.

Como plantios experimentais semelhantes a este com espécies nativas e com dados ao longo de tantos anos são raros, as informações produzidas por este estudo são importantes para fornecer informações sobre o comportamento silvicultural da candeia ao longo dos anos.

Sugerem-se medidas adequadas de manejo, como a aplicação de desbastes, bem como a avaliação do potencial de sobrevivência e os efeitos dos vários espaçamentos de plantio testados e da aplicação da desrama artificial como forma de melhorar o desenvolvimento do plantio.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, E. C. R. **Modelagem da prognose precoce do volume por classe diamétrica para *Eucalyptus grandis***. 2000. 70 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

ALMEIDA, M. L. **Desrama artificial em clones de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* com diferentes arquiteturas de copa**. 2003. 119 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

ALTOÉ, T. F. **Sustentabilidade de plantações de candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish) na produção e qualidade de óleo essencial**. 2012. 154 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

ASSEMBLÉIA LEGISLATIVA DE MINAS GERAIS. **Caracterização dos municípios mineiros**. Belo Horizonte: [s.n.], 2010. Disponível em: <http://www.almg.gov.br/consulte/info_sobre_minas/index.html?aba=js_tabMunicipios&sltMuni=145>. Acesso em: 09 dez. 2013.

ASSMANN, E. **The principles of forest yield study**. Oxford: Pergamon Press, 1970.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2006.

BEADLE, C. et al. Effect of pruning *Acacia mangium* on growth, form and heart rot. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 238, n. 1-3, p. 261-267, Jan. 2007.

BERTONI, J. E. A.; DICKFELDT, E. P. Plantio de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. (aroeira) em área alterada de floresta: desenvolvimento das mudas e restauração florestal. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 31-38, jun. 2007.

CAMOLESI, J. F. **Volúmetria e teor de alfa bisabolol para a candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish)**. 2007. 105 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

CÂNDIDO, J. F. Cultura da candeia (*Vanillosmopsis erythropappa* (DC.) Sch. Bip). **Boletim de Extensão**, Viçosa, n. 35, p. 1-7, 1991.

DARONCO, C.; MELO, A. C. G.; SANTIAGO, D. Desempenho de *Vochysia tucanorum* Mart. em plantio puro em região de cerrado, Assis-SP. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 22, n. 2, p. 325-329, dez. 2010.

DURLO, M. A.; DENARDI, L. Morfometria de *Cabralea canjerana*, em mata secundária nativa do Rio Grande do Sul. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 55-66, 1998.

FANG, Z.; BAILEY, R. L. Nonlinear mixed-effects modeling for slash pine dominant height growth following intensive silvicultural treatments. **Forest Science**, Bethesda, v. 47, n. 1, p. 287-300, Aug. 2001.

FERREIRA, D. F. **Sisvar**: versão 4.2. Lavras: DEX/UFLA, 2003.

FINGER, C. A. G. et al. Efeito da intensidade de desrama sobre o crescimento e a produção de *Eucalyptus saligna* Smith. **Cerne**, Lavras, v. 7, n. 2, p. 53-64, 2001.

FISHER, R. A.; MACKENZIE, W. A. Studies in crop variation. II. The manurial response of different potato varieties. **Journal of Agricultural Science**, Adelaide, v. 13, n. 32, p. 311-320, 1923.

FLORIANO, E. P. **Efeito da desrama sobre o crescimento e a forma de *Pinus elliottii* Engelm.** 2004. 93 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: Nobel, 2009.

INOUE, M. T. et al. Crescimento Juvenil de *Pinus taeda* em função do espaço vital de crescimento. **Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 1, p. 57-62, jan./mar. 2011.

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS. **IEF estimula uso sustentável da Candeia**. Belo Horizonte: [s.n.], 2011. Disponível em: <<http://www.ief.mg.gov.br/noticias/1/1231-ief-estimula-uso-sustentavel-da-candeia>>. Acesso em: 09 jan. 2014.

KLEIN, J. E. M. et al. Produção de madeira e casca de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild) em diferentes espaçamentos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 2, n. 1, p. 87-97, jan. 1992.

LEITE, F. P. et al. Crescimento de *Eucalyptus grandis* em diferentes densidades populacionais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 313-321, 1997.

LIMA, A. P. L. **Aplicação de desrama em clone de *Eucalyptus grandis* em diferentes épocas e intensidade: efeitos sobre o crescimento e dinâmica de copa**. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

LIMA, I. L. et al. Efeito do espaçamento no desenvolvimento *Poecilanthe parviflora* De Benth aos 42 Anos, Em Bauru, SP. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 111-120, jun. 2010.

LOEUILLE, B. ***Eremanthus* in lista de espécies da flora do Brasil**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2010. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2010/FB005312>>. Acesso em: 02 out. 2012.

LOEUILLE, B.; LOPES, J. C.; PIRANI, J. R. Taxonomic novelties in *Eremanthus* (Compositae: Veronieae) from Brazil. **The Board of Trustees of the Royal Botanic Gardens**, Kew Bulletin, v. 67, n. 1, p. 1-9, Apr. 2012.

MELO, A. C. G.; DURIGAN, G.; KAWABATA, M. Crescimento e sobrevivência de espécies arbóreas plantadas em área de cerrado, Assis-SP. In: BOAS, O. V.; DURIGAN, G. **Pesquisas em Conservação e Recuperação Ambiental no Oeste Paulista**. São Paulo: Páginas & Letras, 2004. p. 314 -324.

MORAIS, V. M. **Dinâmica de crescimento de eucalipto clonal sob diferentes espaçamentos, na região noroeste do estado de Minas Gerais**. 2006. 79 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

MORI, C. L. S. O. et al. Influência da altitude, idade e diâmetro de árvores de candeia (*Eremanthus erythropappus*) sobre o rendimento e teor de alfa-bisabolol. **Cerne**, Lavras, v. 15, n. 3, p. 339-345, jul./set. 2009.

NUTTO, L. Manejo do crescimento diamétrico de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. baseado na árvore individual. **Ciência Florestal**, Santa Maria. v. 11, n. 2, p. 9-25, jul./dez. 2001.

OLIVEIRA, R. P. R. P. E. **Desempenho silvicultural de *Tectona grandis* L.f., em diferentes espaçamentos, no município de Cáceres, MT.** 2008. 19 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

PASSOS, C. A. M.; BUFULIN JUNIOR, L.; GONÇALVES, M. R. Avaliação silvicultural de *Tectona grandis* L.F., em Cáceres – MT, Brasil: resultados preliminares. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 2, p. 225-232, 2006.

PEDRALLI, G. Estrutura diamétrica, vertical e análise do crescimento da 'candeia' (*Vanillosmopsis erythropappa* Sch. Bip) na Estação Ecológica do Tripuí, Ouro Preto – MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 301-306, abr./jun. 1997.

PÉREZ, J. F. M. et al. Sistema de manejo para a candeia - *Eremanthus erythropappus* (dc.) Macleish – a opção do sistema de corte seletivo. **Cerne**, Lavras, v. 10, n. 2, p. 257-273, jul./dez. 2004.

PERÉZ, J. F. M. **Sistema de manejo para a candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) McLeish).** 2001. 71 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

PINHEIRO, J. C.; BATES, D. M. **Mixed-effects models in S and S-Plus.** New York: Springer-Verlag, 2000.

PINKARD, E. A. Effects of pattern and severity of pruning on growth and branch development of pre-canopy closure *Eucalyptus nitens*. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 157, n. 1, p. 127-230, Mar. 2002.

PIRES, B. M.; REIS, M. G. F.; REIS, G. G. Crescimento de *Eucalyptus grandis* submetido a diferentes intensidades de desrama artificial na região de Dionísio, MG. **Brasil Florestal**, Brasília, v. 21, n. 73, p. 14-22, abr. 2002.

PLANT, R. E. **Spatial data analysis in ecology and agriculture in R.** New York: CRC, 2012.

POLLI, H. Q. **Crescimento e qualidade da madeira para serraria em clone de *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) submetido à desrama artificial.** 2005. 97 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**: versão 3.0.2. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2013.

SANTOS, E. M. **Crescimento e produção de plantios de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) sob diferentes espaçamentos**. 2000. 89 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2000.

SATO, A. S. et al. Crescimento e sobrevivência de duas procedências de *Aspidosperma polyneuron* em plantios experimentais em Bauru, SP. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 20, n. 1, p. 23-32, jun. 2008.

SCHNEIDER, P. R. et al. Análise da mortalidade de *Acacia mearnsii* de Wild. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 137-143, 2005.

SCOLFORO, J. R. S. et al. Estimativas de volume, peso seco, peso de óleo e quantidade de moirões para a candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish). **Cerne**, Lavras, v. 10, n. 1, p. 87-102, jan./jun. 2004.

SCOLFORO, J. R. S. et al. **Inventário florestal de Minas Gerais**: equações de volume, peso de matéria seca e carbono para diferentes fisionomias da flora nativa. Lavras: Editora da UFLA, 2008b.

SCOLFORO, J. R. S. et al. **O manejo da candeia nativa**. Lavras: Editora da UFLA, 2008c.

SCOLFORO, J. R. S. et al. **O manejo de plantações de candeia**. Lavras: Editora da UFLA, 2008a.

SCOLFORO, J. R. S. **Modelagem do crescimento e da produção de florestas plantadas e nativas**. Lavras: Editora da UFLA, 1998.

SCOLFORO, J. R. S.; MACHADO, S. A. Um sistema de crescimento e produção com simulador de desbaste. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 50, p. 51-64, dez. 1996.

SCOLFORO, J. R. S.; THIERSCH, C. R. **Biometria florestal**: medição, volumetria e gravimétrica. Lavras: UFLA/FAEPE, 2004.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria Florestal: modelos de crescimento e produção florestal**. Lavras: Editora da UFLA, 2006.

SEBBENN, A. M. et al. Variabilidade genética e interação genótipos x local em jequitibá-rosa *Cariniana legalis* (Mart.) O. Ktze. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 12, n. 1, p. 13-23, jun. 2000.

SEBBENN, A. M. et al. Variação genética entre e dentro de populações de amendoim - *Pterogyne nitens*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 56, p. 29-40, dez. 1999.

SEBBENN, A. M.; AOKI, H.; MORAES, M. L. T. de. Variação genética e seleção em teste de procedências de *Grevillea robusta* A. Cunn. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 15, n. 1, p. 1-8, jun. 2003.

SEBBENN, A. M.; ZANATTO, A. C. S.; MORAIS, E. Conservação genética *ex situ* de *Gallesia gorarema* Vell. Moq. no Estado de São Paulo. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 14, n. 2, p. 95-104, dez. 2002.

SILVA, C. P. de C. **Crescimento e produção da candeia em plantio sujeito a diferentes espaçamentos e podas**. 2009. 133 p. Dissertação (Mestrado em Florestas de Produção) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

SOUZA, C. A. M. et al. Crescimento em campo de espécies florestais em diferentes condições de adubações. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 243-249, 2006.

SPRINGMANN, S.; ROGERS, R.; SPIECKER, H. Impact of artificial pruning on growth and secondary shoot development of wild cherry (*Prunus avium* L.). **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 261, n. 3, p. 764-769, Feb. 2011.

TEMPS, M. **Adição da precipitação pluviométrica na modelagem do crescimento e da produção florestal em povoamentos não desbastados de *Pinus taeda* L.** 2005. 117 p. Dissertação (Mestrado de Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

WEBER, K. S. **Manejo da Bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) baseado no crescimento diamétrico de árvores individuais**. 2007. 125 p. Dissertação (Mestrado de Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

ZEIDE, B. Analysis of growth equation. **Forest Science**, Bethesda, v. 39, n. 3, p. 594-616, Aug. 1993.

ZHAO, D.; WILSON, M.; BORDERS, B. E. Modelling response curves and testing treatment effects in repeated measures experiments: a multilevel nonlinear mixed-effects model approach. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 35, n. 1, p. 122–132, Jan. 2005.

ZUBA JUNIOR, G. R. et al. Crescimento do jatobá e de leguminosas arbóreas em diferentes espaçamentos, em área degradada. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 4, p. 63-68, 2010.