Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Manejo da copa diminui o fator de afilamento do fuste e altera fisiologia foliar de *Eucalyptus urophylla*

Lucas Kelvin Dias Soares

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências, Programa: Recursos Florestais. Opção em: Tecnologia de Produtos Florestais

Piracicaba
2017

Lucas Kelvin Dias Soares
Engenheiro Florestal

Manejo da copa diminui o fator de afilamento do fuste e altera fisiologia foliar de *Eucalyptus urophylla*

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **JOSÉ NIVALDO GARCIA**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências, Programa: Recursos Florestais. Opção em: Tecnologia de Produtos Florestais

Piracicaba
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Soares, Lucas Kelvin Dias

Manejo da copa diminui o fator de afilamento do fuste e altera fisiologia foliar de *Eucalyptus urophylla* / Lucas Kelvin Dias Soares. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. Piracicaba, 2017.

52 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Destopo 2. Desrama 3. Conicidade 4. Eucalipto I. Título

DEDICATÓRIA

À toda a minha FAMÍLIA, pelo suporte incessante, confiança no meu sucesso e energias positivas.

AGRADECIMENTOS

Ao meu pai Josemar, e à minha madrasta Katia, pelo apoio incondicional ao longo desta jornada.

À minha mãe Rosely, minhas tias Rosiléia, Rozania e Roziley, e meus avós, Ana e Daniel, por acompanharem de perto meu crescimento, sempre com palavras positivas, incentivando e impulsionando meu sucesso.

Aos meus irmãos Bruno, João Victor, Rodrigo e Danubia, em especial ao primeiro, pelas contribuições a este trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES), pelo apoio financeiro que permitiu a condução deste trabalho.

À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ) da Universidade de São Paulo (USP), em especial ao Departamento de Ciências Florestais (LCF), cuja estrutura e pessoal foram de extrema valia para o bom andamento do estudo.

Ao professor José Nivaldo Garcia, pela confiança, *insights*, conselhos, colaboração e orientação neste trabalho.

A Luis Eduardo Facco, técnico do Laboratório de Engenharia da Madeira, pela cooperação infindável e amizade.

À toda a Paiol, pela vivência e parceria ao longo desses anos.

À Marina, Alexandre, Artur, Ananias, Balboni, Cesar, Analder, Glauco, José Peña, Leonardo, enfim, a todos os amigos que tive o prazer de conhecer, e que sem dúvida fizeram esta etapa mais leve, divertida e prazerosa.

A todos que de alguma forma, por mais simples que seja, tenham ajudado na construção deste trabalho.

O meu sincero, **AGRADECIMENTO**.

EPÍGRAFE

"E nada que foi
então seria
se não pela mão
daquele que se levanta e faz
pois nada sentado vem
senão a brisa da manhã
calma e gelada
anunciando o passar do tempo
cuja velocidade e importância
só perde para a ignorância
entre os males dos mortais"

Wiltord Kelvin

SUMÁRIO

RESUMO 8
ABSTRACT 9
LISTA DE FIGURAS 10
LISTA DE TABELAS 11
1. INTRODUÇÃO 13
2. OBJETIVOS 15
2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 17
3.1. GÊNERO EUCALYPTUS SPP. 17
3.2. EUCALYPTUS UROPHYLLA S.T. BLAKE – HÍBRIDO INSTRAESPECÍFICO AEC144 17
3.3. LUMINOSIDADE 18
3.4. FOTOSSÍNTESE 18
3.5. DESENVOLVIMENTO DE GALHOS, RAMOS E FOLHAS 19
3.6. BROTOS EPICÓRMICOS 20
3.7. DINÂMICA DE DOSSÉIS 21
3.8. CRESCIMENTO RADIAL 23
3.9. ADAPTABILIDADE E TOLERÂNCIA 24
3.10. FORMA DAS ÁRVORES 25
3.11. RELAÇÕES MORFOMÉTRICAS 26
4. MATERIAL E MÉTODOS 29
4.1. ÁREA DE COLETA DOS DADOS 29
4.2. MATERIAL DE ESTUDO 29
4.3. TIPO DE AMOSTRAGEM 29
4.4. TRATAMENTOS E REPETIÇÕES 29
4.4.1. Quanto à remoção da fração superior da copa (meristema apical; destopo) 29
4.4.2. Quanto à disposição da árvore ao sol 30
4.4.3. Quanto à aplicação de desrama 30
4.5. COLETA DE DADOS 31
4.5.1. Inventário base 31
4.5.2. Inventários de rotina 31
4.5.3. Inventário final (cubagem) 31
4.6. ESTIMATIVAS DE FATOR DE AFILAMENTO E VOLUME 31
4.7. ANÁLISE E COMPARAÇÃO DOS DADOS 32
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO 33
5.1. CARACTERIZAÇÃO DAS ÁRVORES 33

5.2. BROTAÇÕES 33
5.3. DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO (DAP) 38
5.4. FATOR DE AFILAMENTO (FA) 42
6. CONCLUSÕES 45
REFERÊNCIAS 47

RESUMO

Manejo da copa diminui o fator de afilamento do fuste e altera fisiologia foliar de *Eucalyptus urophylla*

A pluridade de características de espécies nativas, aliada a leis que limitam sua exploração, acarreta na necessidade de estabelecimento de novas espécies capazes de suprir a demanda madeireira brasileira. Os *Eucalyptus* spp. são altamente produtivos sob clima tropical, sendo extensamente plantados no país para diversas finalidades, em especial papel e celulose, energia, painéis e serraria, entretanto, pouca ênfase tem sido dada a esta última, devido ao horizonte longo de planejamento, dificuldades no processamento primário e defeitos na madeira apresentados pelas espécies mais produtivas do gênero. Visando traçar estratégias que minimizem essas dificuldades, analisamos o efeito de 2 formas de manipulação de copa – destopo e desrama -, sob diferentes regimes de luminosidade, em parâmetros da copa e do tronco em híbridos de *Eucalyptus urophylla* dos 11 aos 23 meses de idade. Tanto o destopo quanto a desrama afetaram negativamente o incremento diamétrico e volumétrico do híbrido, entretanto, árvores destopadas sob níveis maiores de luminosidade exibiram fatores de afilamento menores, quando comparadas ao tratamento Controle. Dentro do mesmo regime de luminosidade, árvores desramadas também apresentaram fatores de afilamento inferiores. Apesar de sua alta demanda por luz, o híbrido foi capaz de alterar sua estrutura foliar de acordo com o nível de luminosidade: árvores sob regimes de luminosidade reduzida adaptaram suas folhas à sombra (folhas de sombra), enquanto que àquelas sem limitação de luminosidade folhas adaptadas ao sol (folhas de sol). Brotações em resposta ao destopo se resumiram à brotações epicórmicas próximo à seção destopada.

Palavras-chave: Destopo; Desrama; Conicidade; Eucalipto

ABSTRACT

Crown management decreases taper and modify foliage physiology of *Eucalyptus urophylla*

The diversity of characteristics of native species, allied to laws that limit their exploration, reinforces the need of establishing news species to supply the national wood demand. The *Eucalyptus* spp. are highly productive under tropical whether, being extensively planted in the country to many finalities, especially paper, pulp, energy, panels and sawn wood, however, low attention is being given to the last due to the long term planning, difficulties in the primary processing and wood blemishes present in the most productive species of the gender. Aiming to trace strategies that minimize these hardships, we analyzed the effects of two forms of crown manipulation – topping and pruning -, under different light patterns, in parameters of crown and bole of *Eucalytpus urophylla* hybrids from 11 to 23 months of age. Both topping and pruning impacted negatively the diametric and volumetric increment, although topped trees showed smaller taper when compared to the Control treatment. Within the same light pattern pruned trees also presented smaller taper. Although the hybrid demands high amounts of light, it was capable of altering its foliage structure according to the light level: trees under reduced light adapted its leaves to shadow ("shadow leaves"), while those without light limitation leaves adapted to sun ("sunleaves"). Shoots in response to topping were resumed to epicormic shoots close to the topped section.

Keywords: Topping; Pruning; Taper; Eucalypt

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. POSIÇÃO DOS BROTOS EPICÓRMICOS EM TRONCOS E GALHOS (SEITZ, 1996). 21

FIGURA 2. PARCELAS SOBRE SOMBRA PARCIAL (A), SOBRE SOMBRA CONSTANTE (B), E CONTROLE (C). A – ÁRVORES ÚTEIS DA PARCELA, B – BORDADURA DA PARCELA, O – DEMAIS ÁRVORES DO PLANTIO. 30

FIGURA 3. (A) E (B) - BROTOS EPICÓRMICOS DE ÁRVORES SOB SOMBRA PARCIAL, (C) E (D) - BROTOS EPICÓRMICOS DE ÁRVORES SOB SOMBRA CONSTANTE.....35

FIGURA 4. FOLHAS DE SOMBRA (À ESQUERDA) E FOLHAS DE SOL (À DIREITA) PARA O HÍBRIDO AEC144 AOS 23 MESES DE IDADE SUBMETIDO A DIFERENTES NÍVEIS DE LUMINOSIDADE, DESTOPO E DESRAMA. 38

FIGURA 5. VALORES MÉDIOS DE DAP EM FUNÇÃO DA IDADE PARA O HÍBRIDO AEC144 AOS 23 MESES DE IDADE, SOB DIFERENTES REGIMES DE LUMINOSIDADE, DESTOPO E DESRAMA. PSAA – PLENO SOL, DESTOPO E DESRAMA AUSENTES; SPPA – SOMBRA PARCIAL, DESTOPO PRESENTE E DESRAMA AUSENTE; SPPP – SOMBRA PARCIAL, DESTOPO E DESRAMA PRESENTES; SCPA – SOMBRA CONSTANTE, DESTOPO PRESENTE E DESRAMA AUSENTE; SCPP - SOMBRA PARCIAL, DESTOPO E DESRAMA PRESENTES.....39

FIGURA 6. PRECIPITAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO PARA A ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DE CIÊNCIAS FLORESTAIS DE ITATINGA DURANTE OS MESES DE JUNHO/2015 A MAIO/2016. 41

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL UTILIZADO AVALIAR DIFERENTES REGIMES DE LUMINOSIDADE, DESTOPO E DESRAMA EM HÍBRIDOS AEC144 AOS 11 MESES DE IDADE. 31

TABELA 2. VALORES MÉDIOS E DESVIO PADRÃO PARA VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO DO HÍBRIDO AEC144 AOS 11 MESES DE IDADE. 33

TABELA 3. VALORES MÉDIOS DAS VARIÁVEIS ALTURA DE COPA (HC), COMPRIMENTO DE COPA (CC), PORCENTAGEM DE COPA (PC), COPA REMOVIDA POR DESRAMA, POR DESTOPO E COPA REMOVIDA TOTAL PARA O HÍBRIDO AEC144 AOS 11 MESES DE IDADE. 33

TABELA 4. VALORES MÉDIOS DE VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO PARA O HÍBRIDO AEC144 AOS 23 MESES DE IDADE, SUBMETIDO A DIFERENTES REGIMES DE LUMINOSIDADE, DESTOPO E DESRAMA. 36

TABELA 5. MÉDIAS PARA DIÂMETRO NA ALTURA DO PEITO (DAP) E INCREMENTO MÉDIO MENSAL (IMM) PARA O HÍBRIDO AEC144 AOS 23 MESES DE IDADE, SOB DIFERENTES REGIMES DE LUMINOSIDADE, DESTOPO E DESRAMA. 39

TABELA 6. FATOR DE AFILAMENTO PARA HÍBRIDOS AEC144, SOB DIFERENTES REGIMES DE LUMINOSIDADE, DESTOPO E DESRAMA, AOS 23 MESES DE IDADE. 42

1. INTRODUÇÃO

A madeira é um material natural cujas características dependem de inúmeros fatores biológicos, inerentes tanto à árvore quanto ao ambiente. Dentre as principais finalidades industriais da madeira estão a produção de carvão, papel e celulose, painéis e madeira serrada. Embora cada finalidade demande um padrão específico de atributos para atingir máxima qualidade e rendimento, a madeira serrada se destaca pelo maior tempo requerido até que as árvores destinadas a esse fim atinjam dimensões que possibilitem a obtenção de peças comercialmente valorosas.

Diversas espécies são comercializadas no Brasil para fins madeireiros, porém, a pluralidade de características das madeiras nativas (resistência, coloração, densidade, porosidade), aliada a ciclos de rotação longos, prejudica o planejamento de indústrias e padronização do produto final. Além disso, devido ao extrativismo ilegal, a maioria das espécies que possuem características desejáveis para a indústria de madeira serrada são protegidas por leis anti-desmatamento, o que traz a necessidade da introdução de espécies substitutas.

O gênero exótico *Eucalyptus* possui extensa área plantada no país, destinada majoritariamente para produção de fibras (celulose e papel) e energia (carvão, siderurgia), assim como painéis de fibras e partículas. Sua produtividade alcança IMA médio de 42m³/ha/ano, considerada alta para os padrões internacionais, e sua densidade pode chegar a 1000 kg/m³. Entre os aspectos que mais depreciam a madeira maciça de *Eucalyptus* estão as elevadas tensões de crescimento e quantidade de nós, teoricamente resultantes do crescimento acelerado das espécies desse gênero.

Estudos têm indicado que a manipulação de copa exerce efeitos positivos na redução dos defeitos causados por nós (NUTTO; SPATHELF, 2004), no fator de afilamento (PINKARD; BEADLE, 1998) e na eficiência da copa como um todo (PINKARD *et al.*, 1999). Arranjos espaciais mais largos viabilizam maior crescimento radial nas etapas iniciais de crescimento, mas acarretam troncos mais cônicos, de menor rendimento serrado (FORRESTER; BAKER, 2012; NOGUEIRA *et al.*, 2008). Acelerar e melhorar a distribuição do crescimento radial das árvores, assim como o rendimento em serraria, exige integração correta de métodos de manejo e tratos silviculturais, assim como o desenvolvimento de novas técnicas.

No Brasil, diversos sistemas de produção de eucalipto foram testados e explorados no cultivo de madeira para energia e fibras, mas pouca ênfase tem sido dada para a madeira maciça. Diante da dificuldade relacionada às madeiras nativas de florestas tropicais, a definição de regimes de manejo de eucalipto para madeira serrada no país se faz necessária.

2. OBJETIVOS

Nosso objetivo neste trabalho foi analisar alterações nas características dendrométricas do tronco e da copa causadas pela limitação artificial do crescimento em altura de híbridos AEC144, através de remoções sistemáticas de ramos apicais (destopo), visando o desenvolvimento de estratégias para a produção de toras de maior diâmetro, cilíndricas e com baixa incidência de nós em menor espaço de tempo.

2.1. Objetivos específicos

- Avaliar a relação entre a limitação do crescimento apical e o brotamento de gemas ao longo do tronco e na copa remanescente.
- Analisar o crescimento de ramos após o destopo sob diferentes padrões de luminosidade.
- Avaliar o crescimento após o destopo.
- Avaliar a relação entre a diminuição do comprimento de copa e o fator de afilamento da árvore.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Gênero *Eucalyptus* spp.

O gênero *Eucalyptus* L'Herit (1788) é oriundo das regiões da Austrália, Indonésia e Tasmânia, e é composto por aproximadamente 900 espécies, distribuídas em larga escala geográfica e diferentes gradientes ambientais. Devido a sua abundância e variedade, as florestas de eucaliptos variam amplamente em diversas características da madeira como cor, peso, densidade, dureza, elasticidade e trabalhabilidade. Essa pluralidade de propriedades possibilita inúmeros usos à madeira dos eucaliptos. Além da madeira, algumas espécies do gênero podem produzir derivados, obtidos a partir da destilação das folhas ou extraídos da madeira e casca, como óleos, taninos e rutinas (BOLAND *et al.*, 2006).

Espécies de *Eucalyptus* são conhecidas por serem altamente produtivas sob clima tropical, principalmente por possuírem alto ponto de saturação de luz, além de altas taxas fotossintéticas quando submetidos a altos níveis de luminosidade. Devido a estas características, essas espécies são classificadas como "demandadoras de luz" ou "intolerantes à sombra" (FLORENCE, 2004).

Embora a maioria das espécies de eucalipto sejam intolerantes à baixa luminosidade, ainda há algumas diferenças entre aquelas de importância silvicultural. Diferenças na tolerância à sombra podem também refletir nas formas com que as espécies de eucalipto utilizam os fotossintatos sob luz reduzida (FLORENCE, 2004). KAMIS (1977) apud FLORENCE (2004) constatou que *E. paniculata* e *E. microcorys* eram de certa forma mais tolerantes à sombra do que *E. pilularis, E. saligna* e *E. acmenoides*. Isso foi atribuído a: produção de uma maior relação raiz/galhos sob sombra, particularmente onde a umidade do solo foi limitante; aumento na translocação de fotossintato para as raízes quando sombreados ou quando sombreados e sob seca; mais galhos e folhas, garantindo uma maior chance de interceptação de luz.

3.2. *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake – híbrido instraespecífico AEC144

Espécie alta, que pode exceder 50 m. Ocorre naturalmente no Timor e Ilhas Indonésias, em altitudes que variam de 300 a 3000 m. Foi introduzida no Brasil por volta de 1929, e tem se mostrado promissora sob climas tropicais ou subtropicais cujo regime pluviométrico ultrapasse 1000 mm/ano (HILLIS *et al.*, 1984).

O híbrido AEC144, comumente referido como I144, é um híbrido clonal da espécie desenvolvido pela empresa Arcelormital, no estado de Minas Gerais-BR, e cadastrado no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento sob número de registro 21874

(MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2007). Seu crescimento é considerado alto, com IMA de 42 m³/ha/ano, densidade básica de 515 kg/m³ e boa tolerância ao déficit hídrico. É amplamente plantado ao longo do território nacional, sendo as principais finalidades de seus plantios celulose, biomassa e madeira serrada (COMÉRCIO AMBIENTAL, 2014; PRÓ MUDAS SUSTENTABILIDADE FLORESTAL, [S.d.]).

3.3. Luminosidade

A luz que alcança uma floresta vem direto do sol como raios, e também como raios refletidos a partir de nuvens, partículas de água na atmosfera e outras impurezas atmosféricas. Estes últimos são denominados "luz difusa". A luz difusa é um importante fator na iluminação de uma floresta e é a forma de luz predominante em locais onde a incidência direta de luz é prejudicada, como clareiras no interior de dosséis fechados (FLORENCE, 2004; TAIZ; ZEIGER, 2006).

A diferença mais expressiva entre os microambientes dos diferentes estratos do dossel está na luz recebida por cada um. O espectro de luz absorvido pelas folhas é seletivo, com os comprimentos de onda utilizados na fotossíntese sendo absorvidos preferencialmente em relação a outros. Deste modo, os regimes de luz em cada nível podem ser bem diferentes, tanto em intensidade quanto em qualidade espectral (FLORENCE, 2004; KOZLOWSKI, T. T.; PALLARDY, 2002).

Dois índices muito comuns que refletem a tolerância de plantas à luz são o "ponto de compensação de luz" e o "ponto de saturação de luz". O primeiro se refere ao gradiente de luz na qual a quantidade absorvida de CO_2 do ambiente é a mesma quantidade perdida para o ambiente através da respiração e em geral é menor em árvores tolerantes à sombra. Com o aumento de luminosidade a partir do ponto de compensação de luz, a taxa líquida de fotossíntese de algumas folhas aumenta. Contudo, em determinado momento a taxa líquida de fotossíntese não acompanha o aumento na luminosidade, configurando assim o "ponto de saturação de luz". Assim como o ponto de compensação de luz, o ponto de saturação de luz é inferior para plantas tolerantes à sombra em relação às intolerantes (FLORENCE, 2004).

3.4. Fotossíntese

A fotossíntese é o processo interno que serve de alicerce para o crescimento dos vegetais clorofilados, sendo caracterizada como a conversão de energia solar em uma forma de energia capaz de ser utilizada pela planta em seus processos internos, a bioquímica. A produção fotossintética pode ser explicada de maneira simples como a conversão de água ($12H_2O$) e

dióxido de carbono ($6CO_2$) em glicose ($C_6H_{12}0_6$), oxigênio ($6O_2$) e água ($6H_2O$), sendo este processo condicionado à energia luminosa (presença de luz; fótons). Todas as etapas do processo fotossintético ocorrem nos cloroplastos, que estão presentes majoritariamente nas folhas, podendo também ser encontrados em outros órgãos, como cotilédones e brotos. Porém, na maioria das espécies a contribuição destes últimos é irrisória (PALLARDY, 2008f; TAIZ; ZEIGER, 2006; VIEIRA *et al.*, 2010).

Uma vez que a fotossíntese é um processo integral que depende de inúmeras reações químicas, diversos fatores podem afetar a eficiência de seu funcionamento. Segundo VIEIRA *et al.* 2010, se encontram dentre esses fatores a quantidade, qualidade espectral e duração da incidência de luz, concentração de CO_2, temperatura, água, oxigênio, fertilidade do solo, fatores internos da planta e fatores inerentes à ação humana. TAIZ e ZEIGER (2006) esclarecem ainda que as quantidades de luz e CO_2 são determinantes na resposta fotossintética das folhas, onde, em algumas situações, a fotossíntese é limitada por um suprimento inadequado do primeiro ou do segundo.

Muitas propriedades do aparato fotossintético mudam em função da luz disponível, incluindo o ponto de compensação da luz, que é mais alto em folhas de sol do que em folhas de sombra. Esses níveis múltiplos de controle da fotossíntese permitem às plantas crescerem com êxito em ambientes sob constante mudança e em habitats diferentes (TAIZ; ZEIGER, 2006).

Os carboidratos formados pela fotossíntese possuem diversos destinos. A maior parte é oxidada pela respiração, liberando a energia necessária nos processos sintéticos associados com o crescimento. Uma grande parte é usada no crescimento, sendo translocada para as extremidades do tronco e raízes, câmbio e estruturas reprodutivas, onde são convertidos em novos protoplasmas e paredes celulares. Outra fração é acumulada como reserva de alimento e eventualmente usada no metabolismo e crescimento (PALLARDY, 2008g).

3.5. Desenvolvimento de galhos, ramos e folhas

Plantas lenhosas usam, concomitantemente, tanto carboidratos armazenados como os produzidos constantemente e as proporções de uso pelos tecidos reprodutivos e vegetativos variam de acordo com espécie, genótipo, idade e condições de crescimento (KOZLOWSKI, THEODORE T.; PALLARDY, 1997).

O crescimento vegetativo é resultado da abertura e expansão de brotos em diversos pontos de crescimento (meristemas) distribuídos ao longo do tronco, galhos e ramos. Durante o crescimento dos galhos a duração da expansão dos entrenós e das folhas varia apreciavelmente, dependendo pelo menos em parte da disponibilidade de recursos estruturais e energéticos e de

reguladores hormonais de crescimento. Em geral, o crescimento de galhos envolve a divisão de células do meristema apical e seu subsequente alongamento, diferenciação e maturação. Essas fases não são delimitadas com exatidão e ocorrem sequencialmente em distâncias variáveis a partir do topo dos galhos e ramos. Quase toda extensão do galho é resultado de alongamento do entrenó (KOZLOWSKI, THEODORE T.; PALLARDY, 1997; PALLARDY, 2008e).

O uso de carboidratos no crescimento vegetativo varia de acordo com padrões herdados de crescimento dos galhos. Folhas jovens em expansão importam carboidratos e os usam, assim como seu próprio fotossintato, no metabolismo e crescimento (KOZLOWSKI, T. T., 1992). A taxa de importação de carboidratos aumenta progressivamente, mesmo após a folha se tornar fotossinteticamente ativa, alcançando o máximo ao nível de 20 a 30% da expansão foliar máxima. O transporte de carboidratos para uma folha em crescimento então diminui gradualmente até a folha começar a exportar carboidratos, antes de estar completamente expandida (KOZLOWSKI, THEODORE T.; PALLARDY, 1997).

A conversão de fotossintato em compostos químicos específicos muda drasticamente durante o desenvolvimento foliar. A maioria do carbono usado pelas folhas para a síntese de proteínas é derivada da fotossíntese, enquanto a sucrose importada é preferencialmente usada na síntese de carboidratos estruturais. Com o contínuo crescimento das folhas, o uso proporcional dos carboidratos oriundos de ambas as fontes muda, com a quantidade de fotossintato corrente usado pelas folhas em crescimento eventualmente excedendo a quantidade importada de outras fontes. Adicionalmente à exportação substancial de carboidratos, folhas que alcançaram a máxima área superficial usam carboidratos para maturação (PALLARDY, 2008e).

Plantas que perdem folhas durante algum período do crescimento dependem mais das reservas de carboidratos para o crescimento do que de fotossintato corrente para o desenvolvimento de galhos. Em árvores como o eucalipto, cujo crescimento de galhos é livre e indefinido, ocorrem folhas em diferentes estágios de crescimento no mesmo galho. O nível de importação de carboidratos por estas varia de acordo com o estágio, sendo que quanto mais jovem (mais próxima da ponta do galho), maior a importação, e, quanto mais avançado, maior a exportação (FLORENCE, 2004; KOZLOWSKI, THEODORE T.; PALLARDY, 1997).

3.6. Brotos epicórmicos

A capacidade de crescer rapidamente assim que as condições do ambiente são favoráveis, e de sobreviver e se recuperar rapidamente de incêndios e outros eventos danosos, se dá em função dos tipos de gemas encontradas nos eucaliptos, em especial, às gemas epicórmicas. Também chamadas de dormentes, gemas epicórmicas são originadas do tecido meristemático das

axilas foliares, crescendo radialmente na mesma taxa que o tronco, contudo, "ocultadas" no câmbio (HILLIS *et al.*, 1984). Em condições normais de crescimento, brotações epicórmicas têm sua profusão inibida por substâncias de crescimento, como auxinas e giberilinas, produzidas nos galhos e ramos mais jovens e ortotrópicos. Contudo, caso haja eliminação destes galhos e ramos por danos físicos, incêndios ou ação de insetos, gemas epicórmicas são estimuladas visando a recuperação da superfície foliar (FLORENCE, 2004; SEITZ, 1996).

A ocorrência de brotos epicórmicos, do ponto de vista silvicultural, pode ser prejudicial ou desejável, de acordo com o contexto de sua ocorrência. Em regimes silviculturais de talhadia, baseados na condução de brotos epicórmicos emitidos pela fração remanescente do tronco após corte raso, sua ocorrência e vitalidade é esperada e desejada (BURROWS, 2002; CAMARGO; SILVA; STAPE, 1997; WENDLING *et al.*, 2009). Por outro lado, quando resultado de podas urbanas, os aumentos de superfície e volume de galhos gerados por sua ocorrência são indesejados, por aumentar a demanda de podas em menor espaço de tempo (SEITZ, 1996).

É comum que, após o desbaste de uma floresta, ramos epicórmicos se desenvolvam ao longo de galhos maiores, fazendo com que estes galhos se encubram de folhas ao invés de a folhagem se resumir apenas no topo. Essa resposta ao desbaste incrementa a densidade da copa muito antes de haver uma expansão da copa através da elongação dos galhos. Em copas mais velhas e largas, onde a elongação do galho primário não é rapidamente alcançada, o sistema de brotações epicórmicas mantem a copa bem foliada e contribui gradualmente para sua extensão (JACOBS, 1955 apud HILLIS *et al.*, 1984).

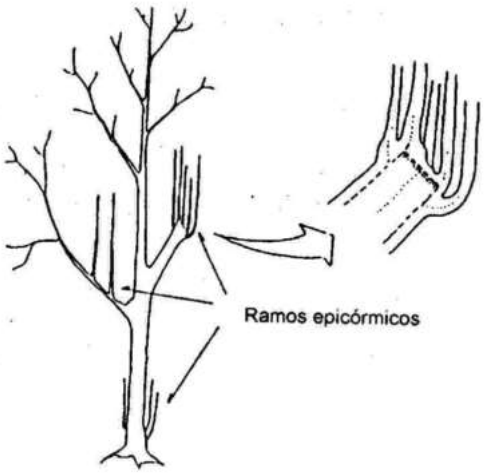

Figura 1. Posição dos brotos epicórmicos em troncos e galhos (SEITZ, 1996).

3.7. Dinâmica de dosséis

O desenvolvimento de vegetais superiores possui estreita relação com suas copas, partindo do papel fundamental que esta tem na síntese dos carboidratos. A dinâmica de crescimento de uma árvore é o resultado de complexas interações entre uma infinidade de fatores que, em geral, podem ser relativos a natureza do indivíduo (bióticos) ou relativos à natureza do ambiente (abióticos). O primeiro grupo abrange fatores relacionados à genética da planta, como características e potenciais hereditários da espécie e/ou do gênero. No segundo encontram-se fatores relativos ao ambiente de crescimento, como temperatura, umidade do ar, tipo de solo, disponibilidade de água, altitude, interferências humanas, dentre outros (LANDSBERG, 1986).

O ambiente e os regimes de crescimento as quais uma árvore é submetida determinam a expressão de seu potencial biótico. Devido à heterogeneidade dos diversos habitats existentes, o crescimento arbóreo pode se diferir entre espécies, entre indivíduos de uma mesma espécie, entre indivíduos de uma mesma espécie em um mesmo local, dentre outros. Enquanto o ambiente de crescimento se resume a fatores inerentes ao ambiente (solo, fotoperíodo, umidade, temperatura), os regimes de crescimento se referem a fatores relacionados à competição. Apesar de as plantas competirem por diversos recursos, o mais crítico deles é a luz.

Os regimes de luminosidade podem ser resumidos em basicamente dois: dossel aberto ou fechado. Uma floresta natural pode conter árvores e arbustos em diversos estratos em um plano vertical. O nível mais alto desse plano é denominado dossel, e está exposto à total insolação, além de não estar protegido pelos outros estratos das chuvas e ventos. O dossel pode ser considerado fechado se as copas adjacentes se tocam e aberto se quantidades expressivas de luz conseguem passar entre árvores adjacentes (FLORENCE, 2004). Segundo o mesmo autor, a competição por luz é iniciada quando, em determinado momento do crescimento, as copas das árvores se tocam e "fecham" a passagem de luz até as camadas inferiores. Em ambientes naturais, com baixa ação antrópica, ambos os padrões de crescimento são encontrados com frequência.

O regime de dossel aberto (open-grown) é caracterizado, em geral, pela baixa densidade arbórea, que acarreta em baixa ou nenhuma associação e/ou competição entre árvores. O desenvolvimento das árvores nesse regime é acelerado nos primeiros estágios de vida, muito devido a rápida formação de sua copa diante da luz solar abundante. Nesse sistema, a forma da copa tende a seguir os padrões do gênero e espécie (LARSON, 1963).

Espécies que requerem altos níveis de luminosidade normalmente possuem altas taxas de fotossíntese e respiração, além da conversão rápida de fotossintato em crescimento. Tais espécies são altamente produtivas sob dossel aberto, contudo, sua produção é comprometida em ambientes sombreados (FLORENCE, 2004).

O sistema de dossel fechado (closed-grown; stand-grown) é o mais comum em florestas plantadas. É caracterizado pela proximidade entre árvores, cuja interação mútua estabelece um ambiente competitivo. O desenvolvimento nesse modelo se caracteriza pelo inicial favorecimento ao crescimento em altura para o alcance, e consequente fechamento, do dossel. A partir deste ponto, a planta passa a convergir seu fotossintato para o crescimento em diâmetro, tendo como principal estímulo seu fortalecimento para resistir aos estímulos ambientais (vento, chuvas). O fechamento do dossel corresponde também ao início da competição natural, onde os galhos mais baixos, mais velhos e com menor eficiência fotossintética começam a morrer em um processo denominado desrama natural, e progressivamente o tronco livre de galhos se torna mais longo.

3.8. Crescimento radial

O aumento no diâmetro do tronco, galhos e raízes das árvores ocorre, primeiramente, a partir da atividade meristemática no câmbio vascular, um meristema lateral cilíndrico, localizado entre o xilema e o floema das estruturas lenhosas (PANSHIN; ZEEUW, 1980).

O crescimento radial é resultado da divisão periclinal (tangencial) e anticlinal das células cambiais iniciais fusiformes. Enquanto a primeira divisão objetiva a produção de células-mãe de xilema e floema, e posterior divisão e diferenciação destas células em células de xilema e floema, a segunda caracteriza a expansão circunferencial do câmbio. O gasto de energia ao longo destes processos é muito alto, caracterizando o crescimento radial como um forte dreno de carboidratos (KOZLOWSKI, T. T., 1992; KOZLOWSKI, THEODORE T.; PALLARDY, 1997; PALLARDY, 2008e).

Espécies de zonas temperadas se comportam diferentemente de espécies de zona tropical no que se refere ao crescimento radial, principalmente por serem adaptadas à baixíssimas temperaturas durante a estação de inverno. Durante esse período, o desenvolvimento cambial dessas espécies entra em estado de dormência, sendo reativado ao fim da estação. Embora espécies tropicais também estejam sujeitas a períodos de crescimento reduzido, as variações entre os diferentes estágios de dormência cambial são mais brandas, permitindo rápida recuperação do crescimento após períodos desfavoráveis (PALLARDY, 2008e).

Assim como o desenvolvimento foliar, o crescimento radial demanda muito esforço da árvore (KOZLOWSKI, THEODORE T.; PALLARDY, 1997). Dentre as três principais estruturas arbóreas - copa, tronco e raízes - o tronco pode ser considerado o dreno de recursos menos prioritário nos períodos iniciais de crescimento, uma vez que seu desenvolvimento está mais ligado à manutenção da planta do que com o estabelecimento desta no ambiente, que é o caso das outras duas. Conforme a planta avança em idade e consolida suas estruturas radiculares e

aéreas, estas vão se tornando relativamente menos prioritárias, e com isso, mais energia é direcionada às atividades cambiais.

KOZLOWSKI e PALLARDY (1997) afirmam que o crescimento cambial é reduzido de acordo com a diminuição do transporte descendente de carboidratos e hormônios reguladores. O oposto também ocorre, ou seja, o aumento de transporte de carboidratos, gerado por aumento de volume (massa foliar) e/ou vigor da copa, normalmente resulta em maior crescimento no diâmetro.

3.9. Adaptabilidade e tolerância

Adaptabilidade, ou adaptabilidade fenotípica, é a capacidade de o genótipo aproveitar de forma vantajosa os estímulos do ambiente (CRUZ; REGAZZI, 1997). Existem genótipos adaptados a determinados ambientes (adaptação específica) e outros que são menos influenciados por variações ambientais (adaptação geral). Estes últimos, normalmente, são associados à baixa produtividade (LAVORANTI, 2003). A adaptabilidade é comumente associada à estabilidade fenotípica, definida por CRUZ E REGAZZI (1997) como a capacidade de os genótipos mostrarem um comportamento altamente previsível em função do estímulo ambiental.

O termo "tolerância" geralmente faz referência à capacidade relativa de uma espécie manter a mesma produtividade de árvores crescendo no topo do dossel em uma floresta equiânea, ou se manter sob dossel completamente fechado ou clareiras na floresta. As espécies que são capazes de sobreviver e crescer sob forte competição por recursos normalmente são retratadas como "tolerantes" (FLORENCE, 2004).

Embora tolerância seja muitas vezes confundida com adaptabilidade, a primeira está mais ligada à resiliência, ou seja, à capacidade de o genótipo ou indivíduo se manter vivo/produtivo em condições amplamente desfavoráveis. O segundo termo acaba por ser mais abrangente, caracterizando não só a capacidade de o indivíduo "suportar" o ambiente, mas também de utilizar de maneira mais eficiente os atributos do ambiente no seu crescimento. Ainda que genótipos adaptados sejam considerados tolerantes, nem sempre aqueles tolerantes serão bem adaptados.

Plantas tolerantes à sombra conseguem manter o crescimento em altura em seu máximo mesmo sob baixa luminosidade, porém, as taxas de crescimento volumétrico têm comportamento contrário, acompanhando sempre o nível de luz. Isso se deve ao fato de que as folhas na mesma copa não apresentam a mesma eficiência. Cada folha essencialmente reflete sua própria condição fisiológica e o ambiente a que está exposta. Folhas que se desenvolvem sob sombra possuem

maior eficiência quando sombreadas, e folhas da mesma árvore que se desenvolveram sob sol serão mais eficientes quando submetidas a alta luminosidade (FLORENCE, 2004).

O sucesso de uma planta sob baixa luminosidade depende não só das formas em que os processos fotossintéticos respondem a baixos níveis de luz, mas também da quantidade de superfície fotossintética recebendo luz que contribui para a produção de carboidratos. Uma das características mais importantes nesse sentido é a relação entre superfície foliar e peso seco (RAF), onde plantas que, com a diminuição da luminosidade, conseguem direcionar seu fotossintato para a produção de folhas, tendem a ter maiores chances de sobrevivência nessas condições. Algumas características das folhas também se mostram de considerável importância, como a espessura, inclinação, largura e coloração (FLORENCE, 2004).

3.10. Forma das árvores

A forma das árvores é definida pelo padrão de crescimento e desenvolvimento do tronco associado ao processo de formação dos ramos, ramificação, e ao padrão de inserção das folhas e das flores nos ramos que dão à copa da árvore sua forma (BATISTA; COUTO; FILHO, 2014; HALLE; OLDERMAN; TOMLINSON, 1978). De acordo com esses autores, os padrões de forma da copa e o processo de crescimento do tronco são inseparáveis, sendo reconhecidos três padrões básicos de forma das árvores baseados em suas copas: colunar, excurrente e decurrente.

Árvores de copas colunares são caracterizadas pelo crescimento do lenho se concentrar no tronco principal, geralmente único, a partir do qual se desenvolvem ramos primários de pequenas dimensões que normalmente não se ramificam (BATISTA; COUTO; FILHO, 2014).

A forma de árvores de copa excurrente é definida pelo crescimento ereto do caule principal, enquanto que os ramos secundários se desenvolvem afastando-se do caule principal na direção lateral. Esse afastamento continua à medida que os ramos secundários se ramificam, formando ramos terciários, e assim sucessivamente, conferindo à copa um formato cônico marcante (BATISTA; COUTO; FILHO, 2014; PALLARDY, 2008d).

A forma de copa evidenciada pela bifurcação ou ramificação do tronco principal em dois ou mais caules que passam a competir entre si no crescimento em altura é denominada decurrente. Visualmente, o traço visual distintivo deste padrão é a impossibilidade de identificar nitidamente, a partir de certa altura, o tronco principal (BATISTA; COUTO; FILHO, 2014; HALLE; OLDERMAN; TOMLINSON, 1978).

O lenho principal (main bole, em inglês), assim como a copa, também apresenta ampla variação em sua forma. As tentativas de representar de forma generalizada a forma dos troncos

em sólidos geométricos têm sido abundantes e diversas, o que tem dificultado o estabelecimento desta como um método confiável e replicável de comparação, principalmente pelo fato de os troncos não se assemelharem a um sólido geométrico específico, e sim, à junção de vários, de acordo com a porção do tronco que seja considerada (ASSMANN, 1970; FRIEDL, 1989; LOETSCH; ZOHRER; HALLER, 1975). Mais restritamente, a forma dos troncos pode ser associada ao termo afilamento (taper, em inglês), que representa a diminuição do diâmetro com o aumento da altura no tronco, e como tal, pode ser expressa por uma função matemática que descreva a tendência dessa variação (BORGES, 1981).

A forma do tronco de uma árvore é determinante tanto para o conteúdo volumétrico de madeira do tronco quanto para a definição dos tipos de produtos que se pode obter dele (BATISTA; COUTO; FILHO, 2014). Usos que requerem peças de dimensões maiores, como serraria e construção civil, demandam árvores mais grossas e cilíndricas.

3.11. Relações morfométricas

O conjunto de características de porte, forma e disposição de folhas e flores na copa é definido com arquitetura ou modelo arquitetônico de copa. A arquitetura de copa pode ser considerada uma herança hereditária, porém, sofre adaptações ao longo do crescimento da árvore, tanto devido à ocorrência de eventos naturais como antrópicos (BATISTA; COUTO; FILHO, 2014). Entre os eventos de ocorrência natural podem ser citados o aumento da idade, alterações no fotoperíodo e na posição sociológica, e a ocorrência de ventos, geadas e nevadas. Já entre os fatores de natureza antrópica podem ser citados a escolha do espaçamento, e aplicações de desrama artificial e desbaste (LANDSBERG; GOWER, 1997; SEITZ, 1996).

A produção de matéria seca pela árvore possui considerável relação com elementos arquitetônicos da copa, como superfície foliar (IAF), largura, comprimento e volume, sendo possível associar tais elementos com altura, diâmetro e área de alburno da planta (CURTIN, 1970; DURLO, 2001; NUTTO, 2001; PADOIN; FINGER, 2010; WINK *et al.*, 2012).

Estudos avaliando a influência do espaçamento no desenvolvimento de diversas espécies concluíram que, em idades iniciais, espaçamentos mais largos possuem uma maior produtividade por indivíduo, porém, uma menor produtividade por área quando comparados a espaçamentos mais apertados. Como não há competição por luz, as plantas de espaçamentos mais largos não são estimuladas a aumentar a sua altura e ocupar o dossel, sendo a energia poupada no crescimento apical distribuída em função do crescimento radial e da brotação de novos ramos. O resultado deste processo é a formação de uma copa mais ampla, tanto em comprimento quanto em largura, e troncos de diâmetros superiores. Dessa forma, o fuste de tais

árvores adquire um alto índice de nós e um formato mais cônico (BERGER *et al.*, 2010; FRIEDL, 1989; LEITE *et al.*, 1997; NOGUEIRA *et al.*, 2008; SCHNEIDER, 1993; SCHNEIDER *et al.*, 2000). Os mesmos trabalhos constataram que fustes crescidos sob espaçamentos apertados apresentam menor diâmetro médio, além de copas menores e mais elevadas, o que proporcionou troncos de formatos mais cilíndricos e também uma maior área livre de nós devido ao desbaste natural nos galhos sombreados.

Ainda no que se refere ao espaço disponível para crescimento, uma árvore típica de dossel aberto é essencialmente toda copa, assumindo as proporções e a forte conicidade do interior da copa (FRIEDL, 1989; LARSON, 1963). Em gimnospermas e algumas angiospermas essa conicidade está ligada à alta taxa de alongamento dos galhos e gemas característica de troncos excurrentes.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Área de coleta dos dados

Os dados foram coletados na Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga, pertencente à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ) da Universidade de São Paulo (USP), localizada em Itatinga-SP (23º10' S, 48º40' O; altitude de 850 m). O solo da área experimental é um Latossolo Vermelho-Amarelo com textura médio-arenosa, suavemente ondulado e de baixa fertilidade natural. Apresenta pH ácido, ao redor de 4, e baixos teores de macro e micronutrientes. O clima na região é do tipo Cwa, segundo a classificação de Köeppen, ou seja, mesotérmico de inverno seco, em que a temperatura média do mês mais frio (julho) é inferior a 18 °C, e a do mês mais quente (janeiro), superior a 22 °C. A precipitação média anual da área é de aproximadamente 1.350 mm, com 57 % concentrada nos meses de dezembro a março.

4.2. Material de estudo

Foram analisados híbridos AEC144 dos 11 aos 23 meses de idade, plantados sob espaçamento 3 x 2 m.

4.3. Tipo de amostragem

A amostragem se deu em parcelas inteiramente casualizadas, sendo a posição de cada parcela determinada através de sorteio.

4.4. Tratamentos e repetições

4.4.1. Quanto à remoção da fração superior da copa (meristema apical; destopo)

A retirada do meristema apical, ou destopo, como uma forma de manipulação da copa, permite debates sobre seu efeito no crescimento diamétrico médio, na forma do tronco e no desenvolvimento de folhas e ramos. Neste sentido, dois tratamentos foram aplicados: aplicação e não-aplicação de destopo. Quando aplicado, o destopo foi realizado através de uma incisão direta no tronco principal aos seis metros de altura com o auxílio de uma motopoda. Após a incisão, permitimos que a copa remanescente e novas brotações crescessem livremente até que as árvores atingissem altura total de nove metros. Essa altura foi mantida, através de destopos sucessivos, até o último inventário de rotina (20 meses de idade). Nos três meses finais do experimento o crescimento foliar foi novamente deixado livre.

4.4.2. **Quanto à disposição da árvore ao sol**

A exposição de árvores a diferentes níveis de luz solar permite inferências relacionadas à interferência da radiação no brotamento de gemais laterais ao longo do tronco e na copa remanescente, alterações em resposta ao sombreamento e adaptabilidade. Neste trabalho, os níveis de exposição ao sol foram: pleno sol, sombra parcial e sombra constante.

As árvores sob pleno sol foram expostas à luminosidade plena desde o início de seu crescimento, sem haver indução ou interferência artificial no nível de sombreamento. Árvores sob sombra parcial, até cerca de três meses após o destopo, tiveram regime de luminosidade semelhante àquelas sob pleno sol, todavia, o crescimento de árvores do plantio (não-pertencentes ao estudo) no entorno das parcelas - além da bordadura - acarretou sombreamento naquelas em estudo, diminuindo, em algum nível, a exposição solar. Dessa forma, essas parcelas foram caracterizadas por um regime de exposição solar, ou sombreamento, parcial. Nas parcelas sob sombra constante, as árvores da parcela foram circundadas, após o destopo, por árvores deixadas intactas. A presença destas árvores, assim como seu contínuo crescimento em altura, configurou um regime de constante sombreamento àquelas na parcela. A Figura 2 abaixo explica cada esquema.

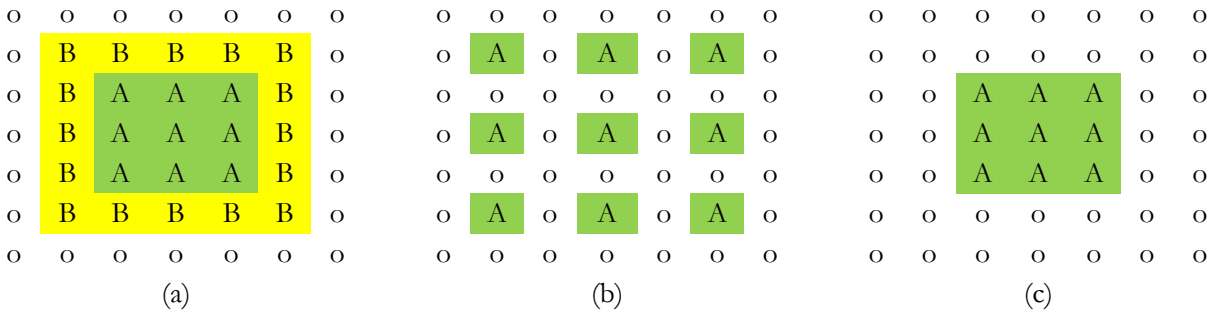

Figura 2. Parcelas sobre sombra parcial (a), sobre sombra constante (b), e controle (c). A – árvores úteis da parcela, B – bordadura da parcela, o – demais árvores do plantio.

4.4.3. **Quanto à aplicação de desrama**

A aplicação de desrama possibilita discussões quanto ao efeito da diminuição artificial do comprimento de copa no desenvolvimento diamétrico médio e na forma do tronco. Os tratamentos aplicados neste campo foram: aplicação e não-aplicação de desrama. Quando aplicada, a desrama foi realizada aos 11 meses de idade, abrangendo três metros de altura no tronco partindo do solo.

Tabela 1. Delineamento experimental utilizado avaliar diferentes regimes de luminosidade, destopo e desrama em híbridos AEC144 aos 11 meses de idade.

Disposição à luz	Destopo	Desrama	Sigla*	Repetições
Pleno **S**ol (Controle)	**A**usente	**A**usente	PSAA	2 x 9
Sombra **p**arcial	**P**resente	**P**resente	SPPP	2 x 9
Sombra **p**arcial	**P**resente	**A**usente	SPPA	2 x 9
Sombra **c**onstante	**P**resente	**P**resente	SCPP	2 x 9
Sombra **c**onstante	**P**resente	**A**usente	SCPA	2 x 9

* - As siglas são compostas pelas iniciais de cada tratamento, facilitando futuras referências.

A Tabela 1 mostra a conformação dos tratamentos e suas respectivas repetições. Cada tratamento foi implantado em duas parcelas de nove árvores úteis cada, totalizando 18 árvores analisadas por tratamento e 90 árvores no experimento como um todo. Todas os inventários, assim como a cubagem, foram realizados em todos os indivíduos da parcela.

4.5. Coleta de dados

4.5.1. Inventário base

Com o auxílio da fita métrica mensuramos circunferência na altura do peito (cap; 1,3 metros do solo), circunferência na inserção da copa (cic; ocorrência do primeiro galho fisiologicamente ativo) e circunferência aos 3 metros de altura no tronco. Com o Vertex, mensuramos altura de inserção de copa (hc) e altura total da árvore (ht). O comprimento de copa (cc) foi calculado pela diferença entre a altura total da árvore e a altura de inserção de copa. A porcentagem de copa (pc) foi dada pela relação entre comprimento de copa e altura total.

4.5.2. Inventários de rotina

Os inventários de rotina ocorreram a cada 3 meses. Com exceção do CIC, foram mensuradas as variáveis do inventário base e a circunferência aos dois metros de altura no tronco.

4.5.3. Inventário final (cubagem)

Neste inventário realizamos a cubagem rigorosa das árvores pelo método de Smalian, com seções de 1 metro ao longo do tronco. Os dados de copa mensurados neste inventário foram altura (hc) e diâmetro (dc), este último pelo método dos 8 pontos fixos (não-destrutivo).

4.6. Estimativas de fator de afilamento e volume

A partir dos diâmetros e alturas coletados utilizamos do método de regressão por mínimos quadrados para se estimar os coeficientes da equação linear que define o comportamento do diâmetro em função da altura. O fator de afilamento foi representado pelo módulo do coeficiente angular da variável altura. O volume até a altura de copa foi obtido por integração.

4.7. Análise e comparação dos dados

Os resultados foram analisados através da comparação de valores médios, análise de variância, testes de comparação de médias (Tukey) e análises de regressão.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Caracterização das árvores

A Tabela 2 a seguir exibe os dados obtidos no inventário base, realizado aos 11 meses, antes da aplicação dos tratamentos. A análise preliminar mostrou que não houve diferença estatística (p=5%) entre os tratamentos para nenhuma variável.

Tabela 2. Valores médios e desvio padrão para variáveis de crescimento do híbrido AEC144 aos 11 meses de idade.

Tratamento	dap (cm)	Altura de copa (m)	Altura total (m)
PSAA	7.76 ± 0.7	0.72 ± 0.25	9.2 ± 0.9
SCPP	7.99 ± 0.61	0.71 ± 0.23	9.8 ± 0.7
SPPP	7.69 ± 0.68	0.66 ± 0.29	8.7 ± 0.7
SPPA	7.59 ± 1.15	0.53 ± 0.23	9.2 ± 1
SCPA	7.32 ± 1.03	0.72 ± 0.49	9.4 ± 0.9
Média	**7.67 ± 0.83**	**0.67 ± 0.3**	**9.3 ± 0.8**

dap – diâmetro na altura do peito (1,3 m).

5.2. Brotações

A altura média das árvores aos 11 meses, antes da aplicação dos tratamentos, foi de 9,3 metros, com 93% (8,6 metros) correspondentes a copa. A incisão aos seis metros de altura no tronco (destopo), e sua aplicação conjunta com a desrama removeram 30% (3,8 m) e 57% (4,8 m) de copa, respectivamente (Tabela 3). Trabalhos envolvendo desrama (ALMEIDA, 2003; PINKARD; BEADLE, 2011; TONINI; HALFELD-VIEIRA, 2006) avaliaram porcentagem de remoção de copa similar e constataram que tal remoção não alterou significativamente o crescimento das árvores em relação aos tratamentos sem interferência na copa. Entretanto, nesses casos, a fração retirada da copa foi a inferior, composta em sua maior parte de folhas mais maduras e menos ativas fotossinteticamente que, em muitos casos, são eliminadas naturalmente em algum momento pela planta. A remoção destes galhos, analisando apenas a cronologia, não exerce impacto estrutural significante na planta. Pelo ponto de vista arquitetônico, tal remoção também influencia de forma irrisória a arquitetura da copa.

Tabela 3. Valores médios das variáveis altura de copa (hc), comprimento de copa (cc), porcentagem de copa (pc), copa removida por desrama, por destopo e copa removida total para o híbrido AEC144 aos 11 meses de idade.

Tratamento	Copa (m)			Copa removida (m)						Copa remanescente (m)	
	hc	cc	pc	Desrama		Destopo		Total			
Controle (PSAA)	0.72	8.5	92%	0	0%	0	0%	0	0%	8.5	100%
SPPA	0.53	8.6	93%	0	0%	2.6	30%	2.6	30%	6	70%
SPPP	0.66	8.1	93%	2.4	30%	2.1	26%	4.5	56%	3.6	44%
SCPA	0.71	9	92%	0	0%	3	33%	3	33%	6	67%
SCPP	0.72	8.7	93%	2.3	26%	2.7	31%	5	57%	3.7	43%
Média	**0.7**	**8.6**	**93%**	**2.4**	**28%**	**2.6**	**30%**	**3.8**	**44%**	**4.6**	**56%**

PSAA – pleno sol, destopo e desrama presentes; SPPA – sombra parcial, destopo presente e desrama ausente; SPPP – sombra parcial, destopo e desrama presentes; SCPA – sombra constante, destopo presente e desrama ausente; SCPP - sombra parcial, destopo e desrama presentes; hc – altura de copa; cc – comprimento de copa; pc – porcentagem de copa.

A eliminação da camada superior da copa da árvore, analisando tanto cronologia quanto arquitetura, alterou de forma bastante contundente o funcionamento normal do mecanismo de crescimento da árvore. Do ponto de vista cronológico, os ramos e folhas retirados compreenderam os mais jovens da copa, mais eficientes e importantes no suprimento fotossintético (KOZLOWSKI, THEODORE T.; PALLARDY, 1997; PALLARDY, 2008e; TAIZ; ZEIGER, 2006). Pela perspectiva arquitetônica, a forma da copa do híbrido em questão, de formato monopodial e excurrente, após o destopo, se tornou mais dicotômica, simpodial. Após incisão de tamanha complexidade, a tendência natural da planta é aumentar a eficiência da copa remanescente e buscar sua recomposição.

A recomposição da copa nos tratamentos em que o destopo esteve presente (SPPA, SPPP, SCPA, SCPP) teve como essência o lançamento de brotos epicórmicos a partir do lenho principal, de crescimento predominantemente ortotrópico, visando a ocupação do espaço gerado pela remoção da copa e o reestabelecimento da dominância apical. Contudo, o regime de luminosidade influenciou na efetividade deste comportamento.

Figura 3. (a) e (b) - brotos epicórmicos de árvores sob sombra parcial, (c) e (d) - brotos epicórmicos de árvores sob sombra constante.

Árvores sob sombra parcial (SPPA, SPPP) desenvolveram brotos mais verticais, numerosos e vigorosos (Figura 3a e b) quando comparadas com árvores sob sombra constante (SCPA, SCPP) (Figura 3c e d). No primeiro caso, todas as árvores das parcelas sofreram destopo, tornando a incidência solar na copa remanescente muito intensa. Com luz abundante, a copa remanescente foi capaz de manter o aparato fotossintético em funcionamento, e, estimulada a ocupar o dossel e obter ganho competitivo, direcionou fração significante de sua energia para o lançamento de novos brotos e desenvolvimento dos existentes. Os valores médios aos 23 meses para altura, comprimento e porcentagem de copa das árvores sob sombra parcial foram 9,5 m, 4,8 m e 50%, respectivamente, superiores aos encontrados nas árvores sob sombra constante (Tabela 4).

Tabela 4. Valores médios de variáveis de crescimento para o híbrido AEC144 aos 23 meses de idade, submetido a diferentes regimes de luminosidade, destopo e desrama.

Variáveis	Tratamentos					Média Geral
	Controle (PSAA)	SCPA	SCPP	SPPA	SPPP	
dap	11.9 a	8.5 bc	7.9 c	9.0 b	8.8 bc	9.2
ht	17.0 a	8.4 c	8.7 c	9.7 b	9.3 bc	10.6
hc	9.1 a	4.7 b	5.0 b	4.8 b	4.7 b	5.7
cc	7.9 a	3.7 c	3.7 c	4.9 b	4.6 bc	5.0
pc (cc/ht)	0.46 abc	0.43 bc	0.42 c	0.50 a	0.49 ab	0.46
dc	2.6 ab	2.5 b	2.7 ab	2.9 a	2.7 ab	2.7
ac	5.4 a	5.0 a	5.8 a	6.7 a	5.6 a	5.7
adcc	3.7 a	1.6 b	1.6 b	1.8 b	1.7 b	2.1
adcs	12.7 a	6.3 b	6.6 b	6.6 b	6.4 b	7.7
fc (dc/cc)	0.3 c	0.7 ab	0.8 a	0.6 ab	0.6 b	0.6

Valores da mesma linha seguidos de mesma letra não apresentam diferença estatística (p=5%); PSAA – pleno sol, destopo e desrama ausentes; SPPA – sombra parcial, destopo presente e desrama ausente; SPPP – sombra parcial, destopo e desrama presentes; SCPA – sombra constante, destopo presente e desrama ausente; SCPP - sombra parcial, destopo e desrama presentes; dap – diâmetro na altura do peito (1,3 m); ht – altura total; hc – altura de copa; cc – comprimento de copa; pc – porcentagem de copa; dc – diâmetro de copa; ac – altura de copa; adcc – altura média do diâmetro de copa partindo da altura de copa; adcs - altura média do diâmetro de copa partindo do solo; fc – formal de copa.

Nas parcelas sob sombra constante (SCPA, SCPP) o crescimento vegetativo não se deu de maneira tão vigorosa (Figura 3a e b), muito devido à diminuição da passagem de luz causada pelo crescimento apical das árvores circunvizinhas às da parcela. A limitação de luz em árvores de alta demanda energética afeta negativamente a fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2004), e com isso, o crescimento vegetativo dessas árvores foi comprometido. Os valores médios para altura, comprimento e porcentagem de copa das árvores nestes tratamentos foram 8,6 m, 3,7 m e 43%, respectivamente (Tabela 4).

Segundo HILLIS *et al.* (1984) e KOZLOWSKI e PALLARDY (1997), o aumento de intensidade de luz no interior da copa e no tronco, normalmente associado à perda foliar, estimula brotações epicórmicas e acessórias nos galhos e ramos presentes na copa. Entretanto, não observamos esses efeitos em resposta aos destopos sistemáticos. Esta é uma prenunciação de que o híbrido carece de mecanismos de adaptação à sombra, uma vez que um traço comum entre espécies adaptadas à sombra é o alto número de ramificações para favorecer a captação da luz difusa (FLORENCE, 2004). Além disso, é importante salientar que o híbrido AEC144 é resultado de programas de melhoramento genético focados em ganho em altura, o que de certa forma explica a dificuldade de se adaptar à regimes de luminosidade reduzida. O diâmetro de copa (Tabela 4) reforça essa constatação, uma vez que, mesmo ocupando camadas diferentes do dossel, ou seja, sem a pressão lateral causada por outras copas que evita a expansão lateral dos

galhos (PADOIN; FINGER, 2010; STERBA, 2006), os tratamentos SCPA e SCPP não se diferenciaram estatisticamente (p=5%) do Controle, SPPA e SPPP para essa variável.

Esperávamos que as árvores sob sombra constante, permanecendo na camada inferior do dossel, alargassem suas copas para aumentar a absorção de luz difusa, se aproveitando do espaço disponibilizado pela elevação das copas adjacentes. Entretanto, as copas destes tratamentos alcançaram diâmetro médio de 2,6 metros e área de projeção de 5,4 m², inferiores ao espaço vital por árvore estabelecido pelo espaçamento, de 6 m² (3 x 2 m). As médias gerais para diâmetro e área de projeção de copa foram de 2,7 m e 5,7 m², respectivamente.

É importante destacar a supremacia da dominância apical do híbrido em relação às direções de crescimento e morfometria da copa. Analisando o formal de copa do tratamento Controle (Tabela 4), nota-se um valor de 0,3. Este valor significa que a largura de copa equivale a 30% do comprimento da copa, menos da metade dos valores encontrados para os tratamentos cuja altura foi controlada. Os tratamentos sob sombra constante apresentaram um formal de copa médio de 0,7 e se diferenciaram estatisticamente (p=5%) dos tratamentos sob sombra parcial, cuja média foi 0,6.

No que tange o aumento de eficiência da copa remanescente, neste trabalho, observamos que a estratégia utilizada pelas plantas teve como essência a modificação da estrutura foliar. Ocupando a parte mais inferior do dossel, copas sob sombra constante (SCPA, SCPP) perderam totalmente a dominância e foram dominadas pelas circunvizinhas. Com isso, suas folhas adotaram características de sombra, como mostra a (Figura 4). Folhas de sombra são assim denominadas por se desenvolverem sob limitação de luz, sendo caracterizadas por serem menores, mais finas, largas e escuras que as folhas de sol, além de apresentarem maior densidade estomatal e concentração de pigmentos, o que permite melhor captação da luz difusa (VALLADARES; NIINEMETS, 2008).

Figura 4. Folhas de sombra (à esquerda) e folhas de sol (à direita) para o híbrido AEC144 aos 23 meses de idade submetido a diferentes níveis de luminosidade, destopo e desrama.

Parcelas sob sombra parcial (SPPA, SPPP) não foram totalmente dominadas, ainda assim, sua ocupação do dossel não foi plena. Seu padrão de desenvolvimento foi semelhante ao de árvores codominantes, e seus padrões foliares condizem com tal. As folhas dos ramos epicórmicos lançados em consequência ao destopo se desenvolveram com características de sol, enquanto os ramos anteriores ao destopo tiveram características de sombra. As folhas de sol se desenvolvem sob regime de luminosidade mais intenso, e por isso possuem mecanismos eficientes de dissipação de energia luminosa, além de serem mais espessas e estreitas que as folhas de sombra (VALLADARES; NIINEMETS, 2008). Foi observado também um padrão foliar intermediário entre essas zonas. O tratamento Controle (PSAA) apresentou apenas folhas de sol.

Não observamos efeitos causados pela desrama no que se relaciona às brotações. A desrama natural teve efeito nivelador na altura de copa, que apresentou média geral de 4,8 metros nos tratamentos que sofreram destopo, superior à de desrama artificial, que foi de três metros, e não se diferiu estatisticamente entre os dois regimes de desrama. Complementarmente, também não foram encontradas diferenças significativas entre os regimes de desrama para as demais variáveis.

5.3. Diâmetro à Altura do Peito (DAP)

Os tratamentos aplicados se diferiram quanto ao DAP médio aos 23 meses de idade. O tratamento Controle apresentou DAP médio de 11,9 cm e taxa de incremento médio mensal (IMM) de 0,52 cm, superiores aos demais tratamentos (Tabela 5). As árvores deste tratamento

expressaram um comportamento linear do DAP em função da idade, de acordo com a ausência de distúrbios expressivos ao longo do crescimento (Figura 5).

Tabela 5. Médias para diâmetro na altura do peito (DAP) e incremento médio mensal (IMM) para o híbrido AEC144 aos 23 meses de idade, sob diferentes regimes de luminosidade, destopo e desrama.

Tratamento	DAP (cm)	IMM (cm)	
Controle (PSAA)	11.9	0.52	a
SCPA	8.5	0.37	bc
SCPP	7.9	0.34	c
SPPA	9.0	0.39	b
SPPP	8.8	0.38	bc

Valores na mesma coluna seguidos de mesma letra não apresentam diferença estatística (p=5%). PSAA – pleno sol, destopo e desrama ausentes; SPPA – sombra parcial, destopo presente e desrama ausente; SPPP – sombra parcial, destopo e desrama presentes; SCPA – sombra constante, destopo presente e desrama ausente; SCPP - sombra parcial, destopo e desrama presentes.

Os valores exibidos pelos tratamentos SCPA, SCPP, SPPA e SPPP evidenciam que, ainda que os regimes de luminosidade em questão (SC, SP) tenham apresentado diferenças não-significativas para a maioria dos atributos de copa, a produção fotossintética do híbrido AEC144 foi reduzida diante de maior nível de sombreamento, e devido a isso, menos energia e carboidratos foram alocados para o crescimento radial. MENG *et al.* (2008), avaliando a relação entre DAP e altura entre árvores em diferentes níveis de dominância, observaram que o diâmetro possui relação positiva com a dominância, ou seja, quanto melhor a posição relativa da árvore no dossel, maior a energia captada, logo, a alocação de energia no crescimento diamétrico também é superior.

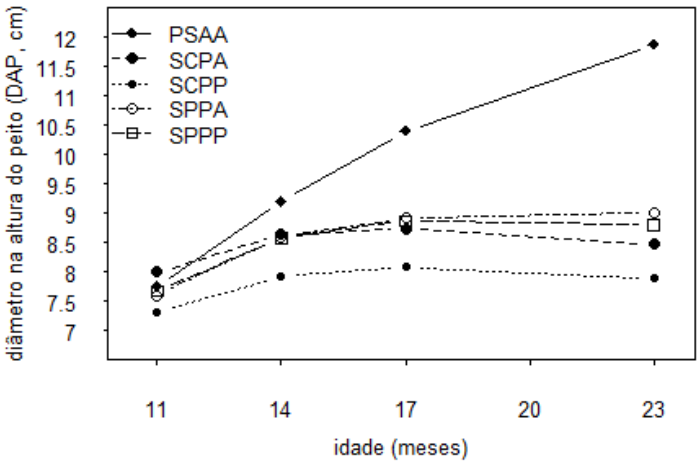

Figura 5. Valores médios de DAP em função da idade para o híbrido AEC144 aos 23 meses de idade, sob diferentes regimes de luminosidade, destopo e desrama. PSAA – pleno sol, destopo e desrama ausentes; SPPA – sombra parcial, destopo presente e desrama ausente; SPPP – sombra parcial, destopo e

desrama presentes; SCPA – sombra constante, destopo presente e desrama ausente; SCPP - sombra parcial, destopo e desrama presentes.

A remoção foliar por destopo também exerceu impacto negativo considerável no diâmetro. O regime de luminosidade nas parcelas sob sombra parcial (SPPA, SPPP) foi semelhante àquele do tratamento Controle por pelo menos três meses após o destopo, ainda assim, tais árvores não foram capazes de manter seu aparato cambial em pleno funcionamento nesse período (Figura 5). Árvores normalmente são capazes de compensar de alguma forma a perda de folhagem, porém, há um ponto a partir do qual essa compensação deixa de ocorrer (PINKARD; BEADLE, 2011).

DOBNER JR. e SEITZ (2015), avaliando intensidade de desrama, concluíram que o DAP de *Eucalyptus dunii* não foi afetado quando pelo menos 4 metros de copa foram mantidos na árvore, e que, valores inferiores a esse acarretaram perda de até 50% no crescimento diamétrico. Pinkard *et al.*, (1999) compararam três intensidades de desrama em árvores de três anos de *E. nitens* e concluíram que as respostas fisiológicas à remoção de 77% de copa não foram suficientes para aumentar o crescimento diamétrico ao longo de 20 meses.

No presente trabalho, a menor porcentagem de remoção foliar (2,6 metros; 30%), ocorrida aos 11 meses e na camada superior da copa, prejudicou o incremento diamétrico além da capacidade de compensação das plantas, mesmo a copa remanescente tendo comprimento próximo a quatro metros. Sugerimos, portanto, que a limitação do crescimento apical da árvore deve ser estabelecida em fase mais jovem da planta, idealmente, no momento em que a planta alcançar a altura de interesse, pois dessa forma, o impacto causado pelos destopos sistemáticos tende a ser minimizado, uma vez que as porções foliares removidas serão sempre pequenas.

A porcentagem de copa removida pela desrama foi de 28%, e não influenciou significativamente (p=5%) o comportamento do DAP, assim como não houve interação (p=5%) entre regimes de desrama e luminosidade. Não obstante, notamos que o crescimento de árvores desramadas foi inferior às não-desramadas sob mesmo regime de luminosidade.

É possível observar na Figura 5 que a diferença entre o DAP aos 23 e 17 meses foi negativa para os tratamentos SPPP, SCPA e SCPP. Os dados pluviométricos (Figura 6) para a área de estudo indicam uma redução na pluviosidade de 85% entre as médias das duas idades, tendo o mês anterior à última coleta de dados apresentado média de 56,8 mm, considerada baixa para a região. Este período de estresse hídrico pode ter provocado retração nas árvores, em função, provavelmente, da diminuição da pressão de turgor das células causada pela perda de água para o ambiente.

A baixa assimilação hídrica pode, da mesma forma, estar relacionada com menor capacidade de absorção de água pelos sistemas radiculares desses tratamentos. CHRISTINA *et al.* (2011), estudando *E. grandis* na mesma região do presente estudo, constataram que a taxa de crescimento radicular acompanhou o crescimento em altura até alcançar o lençol freático, momento em que a relação deixa de ser válida. Os autores encontraram que a profundidade radicular em árvores com altura de 19.2 m foi de cerca de 15.8 m, ou seja, 82%. Os autores concluíram ainda que, ao longo do experimento, houveram decréscimos no teor de umidade do solo até 10 metros de profundidade, evidenciando a importância funcional de raízes profundas durante períodos de seca. Dessa forma, apesar de sob mesmo regime hídrico, a limitação em altura nos tratamentos destopados possivelmente culminou em estagnação do crescimento radicular, e, quando necessária a ocupação de uma camada mais profunda do solo para a captação de água, situação que ocorreu aos 21 meses de idade, onde a evapotranspiração foi superior à precipitação, essa superficialidade se mostrou prejudicial, embora em períodos chuvosos tenha se mostrado, de certo modo, indiferente.

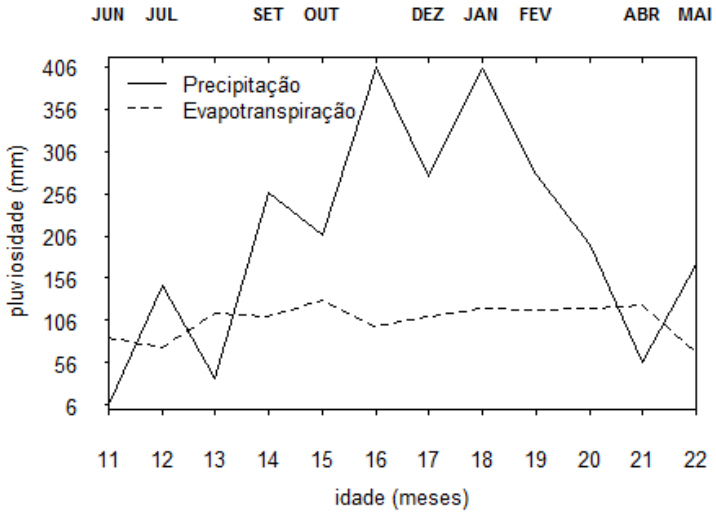

Figura 6. Precipitação e evapotranspiração para a Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga durante os meses de junho/2015 a maio/2016.

Teorias mecânicas de desenvolvimento do fuste (LARSON, 1963; VALINGER, 1992b) reforçam que a dinâmica do crescimento diamétrico se dá em função da resistência necessária para suportar forças mecânicas aplicadas, majoritariamente, pelo vento, na copa. Os tratamentos submetidos ao destopo tiveram altura estagnada em 9 m, enquanto árvores do tratamento Controle alcançaram média de 17 m.

A área transversal necessária para conferir a mesma resistência a dois cilindros de alturas diferentes, ancorados na superfície, sob mesmo estímulo lateral, é proporcionalmente diferente. Dessa forma, os tratamentos SCPA, SCPP, SPPA e SPPP sustentaram menos massa, e, uma vez alcançada a resistência transversal necessária para sustentar sua massa ao vento contínuo (ROSADO *et al.*, 2013), o estímulo para que as plantas a aumentassem através de maior incremento em diâmetro foi sobremaneira pequeno, logo, zonas mais críticas, com maior demanda de recursos, como regeneração da copa e desenvolvimento radicular, foram priorizadas ao longo do desenvolvimento.

5.4. Fator de afilamento (FA)

Os tratamentos aplicados apresentaram fatores de afilamento similares (Tabela 6). Embora o DAP tenha mostrado boa correlação com a altura e comprimento de copa das árvores, o FA não acompanhou esta tendência.

Tabela 6. Fator de afilamento para híbridos AEC144, sob diferentes regimes de luminosidade, destopo e desrama, aos 23 meses de idade.

Tratamento	Equação da árvore	R^2	Erro Padrão	FA (cm/m)	Volume (m^3)**
Controle (PSAA)	d = 12,89 - 0,68*h	0,78	0,03	0,68	0,072
SCPA	d = 9,77 - 0,73*h	0,75	0,04	0,73	0,025
SCPP	d = 9,36 - 0,74*h	0,57	0,06	0,74	0,023
SPPA	d = 10,13 - 0,64*h	0,46	0,06	0,64	0,029
SPPP	d = 10 - 0,68*h	0,69	0,04	0,68	0,027

** - volume por árvore da base até a altura de inserção da copa (hc). PSAA – pleno sol, destopo e desrama ausentes; SPPA – sombra parcial, destopo presente e desrama ausente; SPPP – sombra parcial, destopo e desrama presentes; SCPA – sombra constante, destopo presente e desrama ausente; SCPP - sombra parcial, destopo e desrama presentes; FA – fator de afilamento; d – diâmetro à altura h no tronco; h – altura no tronco.

METZGER (1893, 1894, 1896) apud GRAY (1956), LARSON (1963) e VALINGER (1992B), defendeu que o estresse causado pelo vento, agindo na copa, é propagado no sentido copa-base, sendo máximo na base do tronco, e com isso, o fortalecimento do tronco, através do desenvolvimento de maior diâmetro, é paralelo ao gradiente de estresse. Isso significa que quanto maior o estímulo mecânico recebido por uma árvore através de sua copa, maior é o seu fator de afilamento, ou seja, maior a amplitude entre os diâmetros da base e os diâmetros do topo do tronco. Diversos trabalhos apoiam e endossam essa constatação (ANCELIN; COURBAUD; FOURCAUD, 2004; DEAN; JEREZ; CAO, 2013; LARSON, 1963; PELTOLA *et al.*, 2000; TELEWSKI, 2006; TELEWSKI; PRUYN, 1998).

Como reforçado no tópico anterior (ver "Brotações"), a velocidade do vento aumenta de acordo com a distância a partir do solo, principalmente devido à ausência das diversas rugosidades e obstáculos presentes na superfície (ATAÍDE *et al.*, 2015; MARTINS; GUARNIERI; PEREIRA, 2008). O atrito das copas das árvores Controle com o vento, portanto, foi aparentemente superior às demais, todavia, os dados de FA não acompanharam essa relação (Tabela 6).

Os maiores FAs foram exibidos pelos tratamentos sob sombra constante, totalmente contrário ao que esperávamos, uma vez que, além de altura estagnada aos 9 metros, estas árvores também estiveram circundadas por outras mais velhas e esbeltas desde o destopo, isto é, protegidas ainda mais do estresse causado pelo vento. Enquanto isso, o tratamento Controle apresentou um valor intermediário, e os tratamentos sob sombra parcial exibiram os inferiores.

Assim como o incremento diamétrico, a resistência necessária para resistir aos ventos contínuos aparentou ter alguma correlação com o fator de afilamento. Ventos contínuos são os principais estímulos mecânicos em plantas lenhosas, e afetam positivamente o crescimento diamétrico (ATAÍDE *et al.*, 2015; DEAN; JEREZ; CAO, 2013; LARSON, 1963). Em fases jovens, quando a resistência mecânica é baixa, esses estímulos têm seus efeitos maximizados, com certa ênfase à base do tronco, resultando em FAs maiores (NOGUEIRA *et al.*, 2008; SCHNEIDER *et al.*, 2000). Todavia, com o passar do tempo, a planta alcança uma relação diâmetro/altura suficiente para resistir ao vento contínuo e, a partir desse ponto, caso o ambiente se mantenha inalterado, essa relação é mantida. Em outras palavras, o avanço da idade contribui para a diminuição do FA para um nível "ótimo", que tende a ser mantido enquanto as características do ambiente de crescimento se mantiverem as mesmas (FRIEDL, 1989; LARSON, 1963).

Neste trabalho, a proximidade entre FAs dos tratamentos Controle, SPPA e SPPP pode ser um indício de que a amplitude entre os regimes de vento aos 9 e 17 metros a partir da superfície é baixa, e que um FA médio de 0,66 cm/m é suficiente para o híbrido AEC144 resistir aos estímulos mecânicos recorrentes na área de estudo, quando plantado sob espaçamento 3 x 2. É possível que a presença de florestas consolidadas no entorno de toda a área experimental tenha contribuído para o bloqueio do movimento de ventos até altura superior à média das árvores Controle, definindo assim gradiente de vento equivalente entre os perfis verticais aqui estudados.

Alguns trabalhos defendem que o fator de afilamento pode ser influenciado também pela concentração de galhos ao longo do tronco. A redução no comprimento de copa, natural ou artificial, diminui o fator de forma por estimular na planta o aumento da área transversal logo abaixo da copa, a fim de assegurar o transporte de nutrientes e translocados no sistema fonte-

dreno, isto é, entre copas de produções equivalentes, a menos distribuída ao longo do tronco demanda mais vias para transporte dessas substâncias, tanto no sentido raiz-folhas, quanto no sentido contrário, e essas vias são geradas a partir do desenvolvimento cambial na zona logo abaixo da copa (LARSON, 1963; PALLARDY, 2008a, b, f, PINKARD; BEADLE, 1998, 2011). Embora ambas incisões realizadas no presente trabalho tenham promovido concentração da copa ao longo do tronco, o destopo diminuiu largamente a produção fotossintética, dificultando a sua avaliação como um evento promotor de concentração no transporte de fluidos. Porém, sua interação com os diferentes regimes de luminosidade permite algumas reflexões.

Explicamos no tópico "Brotações" que plantas destopadas, sombreadas parcialmente, apresentaram brotações mais vigorosas e numerosas que as sombreadas constantemente. Entre os regimes de sombra constante e sombra parcial, o primeiro apresentou FA médio de 0,73 cm/m, e o segundo 0,68; 7% a menos. Esta diferença entre fatores de afilamento pode representar em árvores de mesmo DAP uma diferença de cerca de 10% no volume final. Complementarmente, a presença de desrama também mostrou contribuição para a redução do FA, uma vez que as médias de FA para árvores desramadas foram inferiores das não-desramadas sob mesmo regime de luz. Portanto, associar a estagnação do crescimento apical através de destopo com a aplicação de substâncias que possam promover o crescimento vegetativo, como hormônios (KOZLOWSKI, THEODORE T.; PALLARDY, 1997; MAHMOUD *et al.*, 2009; PALLARDY, 2008c), pode se apresentar uma estratégia promissora para promover maior volume e concentração foliar, assim como a possível melhora na relação entre crescimento radial e crescimento em altura, forma da tora, e aproveitamento, em especial, para a madeira serraria.

6. CONCLUSÕES

- As brotações em resposta ao destopo se resumiram a brotações epicórmicas concentradas próximo à seção onde o destopo foi realizado. Não foram observadas ramificações ou brotações nos galhos remanescentes.
- O incremento diamétrico do híbrido AEC144 foi reduzido em até 30% quando submetido a intensidades reduzidas de luminosidade.
- O destopo afetou negativamente o incremento diamétrico e volumétrico do híbrido.
- A aplicação de desrama aliada ao destopo afetou negativamente o DAP e o volume por árvore. O fator de afilamento foi inferior para árvores desramadas em comparação às não desramadas.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. L. DE. *Desrama artificial em clones de* Eucalyptus grandis *x* E. urophylla *com diferentes arquiteturas de copa*. 2003. Universidade Federal de Viçosa, 2003. Disponível em: <http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br:80/handle/123456789/2358>. Acesso em: 10 maio 2016.

ANCELIN, P.; COURBAUD, B.; FOURCAUD, T. Development of an individual tree-based mechanical model to predict wind damage within forest stands. *Forest Ecology and Management*, v. 203, n. 1–3, p. 101–121, dez. 2004. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112704006395>. Acesso em: 15 dez. 2015.

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

ATAÍDE, G. DA M. *et al.* Interação árvores e ventos: aspectos ecofisiolóficos e silviculturais. *Ciência Florestal*, v. 25, n. 2, p. 523–535, 30 jun. 2015. Disponível em: <http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/view/18472>. Acesso em: 16 dez. 2015.

BATISTA, J. L. F.; COUTO, H. T. Z. DO; FILHO, D. F. DA S. *Quantificação de recursos florestais: árvores, arvoredos e florestas*. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

BERGER, R. *et al.* Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. *Ciência Florestal*, v. 12, n. 2, p. 75–87, 2010.

BOLAND, D. *et al. Forest trees of Australia*. 5. ed. Australia: CSIRO Publishing, 2006.

BORGES, J. F. *Seccionamento do fuste de* Pinus taeda *L. para obtenção do volume de madeira serrada, atraves da função de forma polinomial*. 1981. 91 f. Universidade Federal do Paraná, 1981.

BURROWS, G. E. Epicormic strand structure in *Angophora*, *Eucalyptus* and *Lophostemon* (Myrtaceae) - implications for fire resistance and recovery. *New Phytologist*, v. 153, n. 1, p. 111–131, 11 jan. 2002. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1046/j.0028-646X.2001.00299.x>. Acesso em: 28 ago. 2016.

CAMARGO, F. R. A.; SILVA, C. R.; STAPE, J. L. Resultados experimentais da fase de emissão de brotação em *Eucalyptus* manejado por talhadia. *Série Técnica IPEF*, v. 11, n. 30, p. 115–122, 1997.

CHRISTINA, M. *et al.* Almost symmetrical vertical growth rates above and below ground in one of the world's most productive forests. *Ecosphere*, v. 2, n. 3, p. art27, mar. 2011. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1890/ES10-00158.1>. Acesso em: 15 set. 2016.

COMÉRCIO AMBIENTAL. *Eucalipto | Comércio Ambiental*. Disponível em: <http://www.comercioambiental.com.br/mudas/eucalipto/>. Acesso em: 31 ago. 2016.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. [S.l.]: Ed. UFV, 1997. v. 2.

CURTIN, R. A. Dynamics of tree and crown structure in *Eucalyptus obliqua*. *Forest science*, v. 16, n. 3, p. 321–328, 1970.

DEAN, T. J.; JEREZ, M.; CAO, Q. V. A simple stand growth model based on canopy dynamics and biomechanics. *Forest Science*, v. 59, n. 3, p. 335–344, 28 jun. 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/234052432_A_Simple_Stand_Growth_Model_Based_on_Canopy_Dynamics_and_Biomechanics>. Acesso em: 17 dez. 2015.

DOBNER JR., M.; SEITZ, R. A. Intensidade ótima de poda em *Eucalyptus dunnii* para a produção de madeira livre de nós. *FLORESTA*, v. 45, n. 4, p. 791, 12 ago. 2015. Disponível em: <http://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/39474>. Acesso em: 26 jul. 2016.

DURLO, M. A. Relações morfométricas para *Cabralea canjerana* (Well.) Mart. *Ciência Florestal*, v. 11, n. 1, p. 141–149, 2001.

FLORENCE, R. G. *Ecology and silviculture of eucalypt forests*. [S.l.]: Csiro Publishing, 2004.

FORRESTER, D. I.; BAKER, T. G. Growth responses to thinning and pruning in *Eucalyptus globulus* , *Eucalyptus nitens* , and *Eucalyptus grandis* plantations in southeastern Australia. *Canadian Journal of Forest Research*, v. 42, n. 1, p. 75–87, jan. 2012. Disponível em: <http://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/x11-146>. Acesso em: 14 set. 2016.

FRIEDL, R. A. *Dinâmica e prognose da forma dos fustes em povoamentos plantados de* Araucaria angustifolia *(Bert.) O. Ktze*. 1989. [sn], 1989.

GRAY, H. R. The form and taper of forest-tree stems. *Imperial forestry institute paper*, n. 32, p. 79, 1956.

HALLE, F.; OLDERMAN, R. A. A.; TOMLINSON, P. B. *Tropical trees and forests: an architectural analysis*. 1. ed. Berlin: Springer-Verlag, 1978.

HILLIS, W. E. *et al. Eucalypts for wood production*. [S.l.]: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria, Colombo, PR (Brasil). Centro Nacional de Pesquisa de Florestas., 1984.

JACOBS, M. R. *Growth habits of the eucalypts*. [S.l.]: Commonwealth Forestry and Timber Bureau, 1955.

KOZLOWSKI, T. T. Carbohydrate sources and sinks in woody plants. *The Botanical Review*, v. 58, n. 2, p. 107–222, abr. 1992. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/BF02858600>. Acesso em: 1 set. 2016.

KOZLOWSKI, T. T.; PALLARDY, S. G. Acclimation and adaptive responses of woody plants to environmental stresses. *The Botanical Review*, v. 68, n. 2, p. 270–334, abr. 2002. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1663/0006-8101(2002)068%5B0270:AAAROW%5D2.0.CO;2>. Acesso em: 1 set. 2016.

KOZLOWSKI, T. T.; PALLARDY, S. G. Physiological regulation of vegetative growth. *Growth Control in Woody Plants*. [S.l.]: Elsevier, 1997. p. 73–165. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124242104500036>. Acesso em: 21 dez. 2015.

LANDSBERG, J. J. *Physiological ecology of forest production*. [S.l.]: Academic Press, 1986.

LANDSBERG, J. J.; GOWER, S. T. *Applications of physiological ecology to forest management*. [S.l.]: Academic Press, 1997.

LARSON, P. R. Stem form development of forest trees. *Forest Science*, v. 9, n. Supplement 5, p. 31, 1963.

LAVORANTI, O. J. *Estabilidade e adaptabilidade fenotípica através da reamostragem "Bootstrap" no modelo AMMI*. 2003. 166 f. Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11134/tde-22102003-160700/>. Acesso em: 2 set. 2016.

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

LOETSCH, F.; ZOHRER, F.; HALLER, K. E. *Forest inventory*. 2. ed. Berlin: B. I. V., 1975.

MAHMOUD, T. S. *et al.* Avaliação do efeito de hormônio natural, sintético e indutor no desenvolvimento da primeira fase de brotação das estacas de Manihot esculenta Crantz. *Revista Raízes e Amidos Tropicais*, v. 5, n. 1, p. 621–625, 27 nov. 2009. Disponível em: <http://irriga.fca.unesp.br/index.php/rat/article/view/1409>. Acesso em: 3 fev. 2016.

MARTINS, F. R.; GUARNIERI, R. A.; PEREIRA, E. B. O aproveitamento da energia eólica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 30, n. 1, p. 1304.1-1304.13, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172008000100005&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 8 set. 2016.

MENG, S. X. *et al.* Wind speed and crown class influence the height–diameter relationship of lodgepole pine: Nonlinear mixed effects modeling. *Forest Ecology and Management*, v. 256, n. 4, p. 570–577, ago. 2008. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112708003940>. Acesso em: 15 dez. 2015.

METZGER, K. Der Wind als maßgeblicher Faktor für das Wachstum der Bäume. *Mündener Forstliche Hefte*, v. 3, p. 35–86, 1893.

METZGER, K. Form und Wachstum der Waldbäume im Lichte der Darwinschen Lehre. *Allgemeine Forst-und Jagdzeitung*, v. 72, p. 224–233, 1896.

METZGER, K. Studien über den Aufbau der Waldbäume und Bestände nach statischen Gesetzen. *Die stereometrische Form des Fichtenschaftes. M{ü}ndener Forstliche Hefte*, v. 6, p. 94–119, 1894.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. *AEC 0144*. Disponível em: <http://extranet.agricultura.gov.br/php/snpc/cultivarweb/detalhe_cultivar.php?codsr=21843>. Acesso em: 31 ago. 2016.

NOGUEIRA, G. S. *et al.* Influência do espaçamento inicial sobre a forma do fuste de árvores de *Pinus taeda* L. *Revista Árvore*, v. 32, n. 5, p. 855–860, 2008.

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

NUTTO, L.; SPATHELF, P. Modelagem da desrama natural de <i>Araucaria angustifolia <i>(BERT.) O. KTZE. *FLORESTA*, v. 33, n. 3, 12 ago. 2004. Disponível em: <http://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/2263>. Acesso em: 17 maio 2016.

PADOIN, V.; FINGER, C. A. G. Relações entre as dimensões da copa e a altura das árvores dominantes em povoamentos de *Pinus taeda* L. *Ciência Florestal*, v. 20, n. 1, p. 95–105, 30 mar. 2010. Disponível em: <http://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/1764>. Acesso em: 17 maio 2016.

PALLARDY, S. G. Chapter 10 - Mineral Nutrition. *Physiology of Woody Plants (Third Edition)*. San Diego: Academic Press, 2008a. p. 255–285. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780120887651500117>.

PALLARDY, S. G. Chapter 11 - Absorption of Water and Ascent of Sap. *Physiology of Woody Plants (Third Edition)*. San Diego: Academic Press, 2008b. p. 287–323. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780120887651500129>.

PALLARDY, S. G. Chapter 13 - Plant Hormones and Other Signaling Molecules. *Physiology of Woody Plants (Third Edition)*. San Diego: Academic Press, 2008c. p. 367–377. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780120887651500142>.

PALLARDY, S. G. Chapter 2 - The Woody Plant Body. *Physiology of Woody Plants (Third Edition)*. San Diego: Academic Press, 2008d. p. 9–38. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780120887651500038>.

PALLARDY, S. G. Chapter 3 - Vegetative Growth. *Physiology of Woody Plants (Third Edition)*. San Diego: Academic Press, 2008e. p. 39–86. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012088765150004X>.

PALLARDY, S. G. Chapter 5 - Photosynthesis. *Physiology of Woody Plants (Third Edition)*. San Diego: Academic Press, 2008f. p. 107–167. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780120887651500063>.

PALLARDY, S. G. Chapter 6 - Enzymes, Energetics, and Respiration. *Physiology of Woody Plants (Third Edition)*. San Diego: Academic Press, 2008g. p. 169–197. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780120887651500075>.

PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. DE. *Textbook of wood technology*. [S.l.]: McGraw-Hill Book Co., 1980.

PELTOLA, H. *et al.* Mechanical stability of Scots pine, Norway spruce and birch: an analysis of tree-pulling experiments in Finland. *Forest Ecology and Management*, v. 135, n. 1–3, p. 143–153, set. 2000. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112700003066>. Acesso em: 15 dez. 2015.

PINKARD, E. A. *et al.* Modeling the effect of physiological responses to green pruning on net biomass production of *Eucalyptus nitens*. *Tree Physiology*, v. 19, n. 1, p. 1–12, 1999.

PINKARD, E. A.; BEADLE, C. L. Aboveground biomass partitioning and crown architecture of *Eucalyptus nitens* following green pruning. *Canadian Journal of Forest Research*, 2011.

PINKARD, E. A.; BEADLE, C. L. Effects of green pruning on growth and stem shape of *Eucalyptus nitens* (Deane and Maiden) Maiden. *New Forests*, v. 15, n. 2, p. 107–126, 1998. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1023/A:1006533423884>. Acesso em: 25 ago. 2016.

PRÓ MUDAS SUSTENTABILIDADE FLORESTAL. *PRÓ-MUDAS - Eucalipto*. Disponível em: <http://www.promudas.com.br/site/pagina.php?t=___eucalipto&i=4>. Acesso em: 31 ago. 2016.

ROSADO, A. M. *et al.* Avaliação da tolerância à quebra por vento em árvores de eucalipto via teste de resistência. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 33, n. 75, p. 309–315, 30 set. 2013. Disponível em: <http://www.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/500/329>. Acesso em: 13 set. 2016.

SCHNEIDER, P. R. *et al.* Crescimento da acácia-negra, *Acacia mearnsii* De Wild em diferentes espaçamentos. *Ciência Florestal*, v. 10, n. 2, p. 101–112, 2000.

SCHNEIDER, P. R. *Introdução ao Manejo Florestal*. Santa Maria: UFSM, 1993.

SEITZ, R. A. A Poda de Árvores. 1996, Piracicaba: IPEF, 1996. p. 83–103. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/curso_arborizacao_urbana/cap07.pdf>.

STERBA, H. *Waldwachstumskunde: Skriptum zur Lehrveranstaltung 420.020*. Wien: Universität für Bodenkultur, Institut für Waldwachstumsforschung, 2006.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. *Porto Alegre Artmed*, v. 2, p. 719, 2004. Disponível em: <http://en.scientificcommons.org/37678896>.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. *Porto Alegre Artmed*, v. 3, p. 618, 2006. Disponível em: <http://en.scientificcommons.org/37678896>.

TELEWSKI, F. W. A unified hypothesis of mechanoperception in plants. *American Journal of Botany*, 10.3732/ajb.93.10.1466, v. 93, n. 10, p. 1466–1476, 1 out. 2006. Disponível em: <http://www.amjbot.org/content/93/10/1466.abstract>.

TELEWSKI, F. W.; PRUYN, M. L. Thigmomorphogenesis: a dose response to flexing in *Ulmus americana* seedlings. *Tree physiology*, v. 18, n. 1, p. 65–68, 1998.

TONINI, H.; HALFELD-VIEIRA, B. D. A. Desrama, crescimento e predisposição à podridão-do-lenho em *Acacia mangium*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 41, n. 7, p. 1077–1082, jul. 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2006000700002&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 29 nov. 2015.

VALINGER, E. Effects of thinning and nitrogen fertilization on stem growth and stem form of *Pinus sylvestris* trees. *Scandinavian Journal of Forest Research*, v. 7, n. 1–4, p. 219–228, jan. 1992a. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02827589209382714>. Acesso em: 8 jun. 2016.

VALINGER, E. Effects of wind sway on stem form and crown development of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Australian Forestry*, v. 55, n. 1, p. 15–21, jan. 1992b. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00049158.1992.10676094>. Acesso em: 8 jun. 2016.

VALLADARES, F.; NIINEMETS, Ü. Shade tolerance, a key plant feature of complex nature and consequences. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, v. 39, p. 237–257, 2008. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/30245162>.

VIEIRA, E. L. *et al. Manual de fisiologia vegetal.* [S.l.]: EDUFMA, 2010.

WENDLING, I. *et al.* Indução de brotações epicórmicas ortotrópicas para a propagação vegetativa de árvores adultas de *Araucaria angustifolia*. *Agronomía Costarricense*, v. 33, n. 2, 2009.

WINK, C. *et al.* Parâmetros da copa e a sua relação com o diâmetro e altura das árvores de eucalipto em diferentes idades. *Scientia Forestalis/Forest Sciences*, v. 40, n. 93, p. 57–67, 2012.