

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

Efeito do espaçamento e arranjo de plantio na produtividade e uniformidade de clones de *Eucalyptus* na região nordeste do Estado de São Paulo

Cláudio Roberto da Silva

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Recursos Florestais, com opção em Silvicultura e Manejo Florestal.

**Piracicaba
2005**

Cláudio Roberto da Silva
Engenheiro Florestal

Efeito do espaçamento e arranjo de plantio na produtividade e uniformidade de clones de *Eucalyptus* na região nordeste do Estado de São Paulo

Orientador:
Prof. Dr. **JOSÉ LUIZ STAPE**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Recursos Florestais, com opção em Silvicultura e Manejo Florestal.

**Piracicaba
2005**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Silva, Cláudio Roberto da
Efeito do espaçamento e arranjo de plantio na produtividade e uniformidade de clones de
Eucalyptus na região nordeste do Estado de São Paulo / Cláudio Roberto da Silva. - -
Piracicaba, 2005.
50 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005.

1. Clonagem 2. Espaçamento 3. Eucalipto 4. Plantio 5. Produtividade I. Título

CDD 634.9734

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

DEDICATÓRIA

A DEUS

pela sua bondade divina.

A minha esposa Cristina e minha filha Beatriz,

pelo amor, companheirismo, compreensão e colaboração durante toda esta longa jornada.

Aos meus pais, Antonio (in memorian) e Antonia (“Dona Tita”),

que, com muito amor, confiaram no poder da educação para transformar as vidas de seus filhos.

Aos meus irmãos Fátima e Marcos,

pelo apoio e carinho em todos os momentos de minha vida.

Aos meus tios, Sr. Alcindo (“Cide”) e Sra. Rosa (“Tita”) e minha prima Meire,

que, como “minha segunda família”, apoiaram e torceram pelo meu sucesso.

Aos meus cunhados, Paulo, Dimas, Sandra e Ângela,

por terem me acolhido na família Benetello, pelo carinho e pela “torcida”.

Aos meus sobrinhos Ana Carolina, Thiago, Marina e Natália,

por serem exemplos de renovação.

AGRADECIMENTOS

Agradecer é o mínimo que posso fazer às seguintes pessoas e Instituições

Ao Prof. Dr. José Luiz Stape, pela orientação, incentivo e principalmente por ter acreditado na realização deste trabalho.

À Votorantim Celulose e Papel S. A. – Unidade Florestal, nas pessoas do Eng^o José Maria de Arruda Mendes Filho, Eng^o Walter Sales Jacob, Eng^o Arnaldo Salmeron, Eng^o Geraldo Colli Jr., Eng^o Fausto Rodrigues Alves de Camargo e Eng^a Celina Ferraz do Vale, pela oportunidade de poder ampliar os meus conhecimentos, colaboração e por todo apoio logístico para que esta pesquisa fosse desenvolvida.

Ao Prof. Dr. José Leonardo de Moraes Gonçalves, pela colaboração, amizade e apoio que muito me auxiliaram na conclusão desta pesquisa.

Aos meus grandes amigos de trabalho Ailton Carlos da Silva, Dimas Donizete do Patrocínio, Ernesto Norio Takahashi, Francisco Morato Scatollini, Luciano Aparecido dos Santos, Luiz Toledo Barros Rizzo, Ronaldo Luiz Vaz de Arruda Silveira e Walmir Franciscatte, por todo o apoio criterioso na condução desta pesquisa.

Aos colegas de mestrado, José Márcio Cossi Bizon, José Luiz Gava e Marcos César Passos Wichert, pelo enorme incentivo.

Ao amigo Miguel Borelli e à equipe da “Método Inventário Florestal” pelas criteriosas mensurações dos dados experimentais, base de todo este trabalho.

À bibliotecária Marialice Metzker Poggiani, pelo auxílio nas revisões bibliográficas e no acesso ao acervo da biblioteca do IPEF.

Aos amigos e a todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a realização desta pesquisa.

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT.....	8
1 INTRODUÇÃO.....	9
2 DESENVOLVIMENTO.....	12
2.1 Revisão de literatura.....	12
2.1.1 Efeito do espaçamento na produtividade.....	12
2.1.2 Efeito do arranjo na produtividade.....	14
2.1.3 Efeito do arranjo na uniformidade.....	15
2.2 Material e métodos.....	16
2.2.1 Localização.....	16
2.2.2 Clima.....	17
2.2.3 Solo.....	18
2.2.4 Material genético.....	18
2.2.5 Delineamento experimental.....	19
2.2.6 Práticas silviculturais.....	21
2.2.7 Avaliações.....	21
2.2.7.1 Dendrométricas.....	21
2.2.7.2 Biomassa da parte aérea da árvore média.....	23
2.2.7.3 Biomassa da parte aérea por hectare.....	24
2.2.7.4 Avaliação da uniformidade.....	24

2.2.7.5	Modelos de predição da produtividade.....	24
2.2.8	Análise estatística.....	25
2.3	Resultados e discussão.....	25
2.3.1	Sobrevivência, quebra, DAP, altura, taper, área basal, volume individual e volume por hectare.....	25
2.3.2	Biomassa da parte aérea da árvore média.....	35
2.3.3	Biomassa por hectare.....	38
2.3.4	Uniformidade.....	41
2.3.5	Modelos de inferência em função do espaçamento e arranjo.....	43
3	CONCLUSÕES.....	46
	REFERÊNCIAS.....	48

RESUMO

Efeito do espaçamento e arranjo de plantio na produtividade e uniformidade de clones de *Eucalyptus* na região nordeste do Estado de São Paulo

A escolha do espaçamento de plantio, para uma determinada espécie ou clone, em silvicultura é de alta relevância por condicionar a quantidade de recursos naturais disponíveis ao crescimento de cada árvore. Isto influencia as taxas de crescimento e sobrevivência das plantas e a produtividade de madeira por hectare, afetando as práticas de manejo e colheita e, conseqüentemente, os custos de produção florestal. Adicionalmente, há a necessidade de se definir o arranjo de plantio, ou retangularidade (razão entre as distâncias entrelinhas e entreplantas), sendo que aqueles com maior distância entrelinhas possuem maior apelo operacional por reduzirem os custos de preparo de solo ou da colheita da madeira. No entanto, teoricamente, o aumento da retangularidade deve diminuir a produtividade e uniformidade das florestas por reduzir a interceptação de luz e acelerar a estratificação das árvores, além de aumentar os riscos de matocompetição e danos causados por ventos. Assim, o presente trabalho buscou avaliar os efeitos de diferentes espaçamentos e arranjos de plantio na produtividade e uniformidade de dois clones de *Eucalyptus* selecionados para a região nordeste do Estado de São Paulo. O ensaio foi instalado em outubro de 1998, no município de Altinópolis-SP e consistiu de um fatorial completo 2 x 3 x 3, com 4 repetições, com dois materiais genéticos (clones de *E. grandis* x *urophylla* C041 e C219), três espaçamentos (6,0, 10,5 e 15,0 m² planta⁻¹) e três arranjos, com distâncias entrelinhas de 3,0 m (3,00 x 2,00, 3,00 x 3,50 e 3,00 x 5,00), 6,0 (6,00 x 1,00, 6,00 x 1,75 e 6,00 x 2,50) e 9,0 metros (9,00 x 0,67, 9,00 x 1,17 e 9,00 x 1,67). Cada parcela teve uma área total de 900 m², com número de árvores e áreas úteis variáveis de 12 a 78 plantas, e de 180 a 468 m², totalizando 6,48 ha de ensaio. As avaliações dendrométricas foram realizadas aos 1,0, 1,5, 3,0, 4,0, 5,0 e 6,0 anos, e a biomassa da parte aérea (folhas, galhos, casca e lenho) foi avaliada ao final da rotação. Aos 6 anos, o clone C041 foi 11% mais produtivo em volume e 5% mais produtivo em biomassa de lenho do que o clone C219, com incrementos médios anuais (IMA) de 33,8 e 30,5 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente. Esta menor produtividade do C219 deveu-se a sua significativa maior susceptibilidade à quebra pelo vento, notadamente no arranjo de 9 metros. Para ambos os clones, verificou-se maior produção, em volume e biomassa de lenho no espaçamento de 6,0 m², com valores médios de 212 m³ ha⁻¹ e 92 Mg ha⁻¹, com reduções de 10% e 18% na produção para os espaçamentos de 10,5 e 15,0 m² planta⁻¹. Houve redução da produtividade com o aumento das distâncias entrelinhas, e o arranjo de 3 metros, com 34,0 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ e 14,6 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, foi 16% superior ao arranjo de 9 metros. Obteve-se um modelo de predição da produtividade, por clone, em função do espaçamento e do arranjo do plantio. Finalmente, observou-se a redução da uniformidade entre árvores clonais com a idade, com a redução do espaçamento e com o aumento da retangularidade.

Palavras-chave: Espaçamento; Arranjo de plantio; Retangularidade; *Eucalyptus*

ABSTRACT

Spacing and layout effects on the productivity and uniformity of clonal *Eucalyptus* in northeastern of São Paulo State

Defining initial spacing for tree species, or clones, is relevant in silviculture because determines the amount of natural resources available for each tree growth. This influences tree growth rates and survival, and the final wood production, which affects the forest management and harvesting practices and, consequently, the forest production cost. Besides spacing, it is also necessary to define the plantation layout, or rectangularity (between-row to between-plants ratio), and the ones with larger between-row distance tend to be select by operational areas due to their low soil preparation or harvest costs. However, theoretically, the increase in rectangularity should reduce productivity and forest uniformity due to the reduction in light interception and the speed up of forest stratification, and can also increase weed competition and wind damage risks. This study was carried out to evaluate the spacing and layout effects on the productivity and uniformity of two *Eucalyptus* clones in the northeastern of Sao Paulo State. A complete 2 x 3 x 3 factorial design, with four repetitions, was installed in October 1998 in Altinópolis, with 2 clones (C041 and C219), 3 spacings (6,0, 10,5 and 15,0 m² tree⁻¹) and 3 layouts with between-row distances of 3,0 m (3,00 x 2,00, 3,00 x 3,50 and 3,00 x 5,00), 6,0 m (6,00 x 1,00, 6,00 x 1,75 and 6,00 x 2,50) and 9,0 m (9,00 x 0,67, 9,00 x 1,17 and 9,00 x 1,67). Each plot had a total area of 900 m², with measured trees and areas ranging from 12 to 78, and 180 to 468 m², totalizing 6,48 ha. DBH and height measurements were done at 1.0, 1.5, 3.0, 4.0, 5.0 and 6.0 years-old, and aboveground biomass (leaves, branches, bark and stem) quantification at the end of the rotation. At 6 years-old, clone C041 was 11% more productive in volume and 5% more productive in stem biomass than clone C219, with mean anual increments (MAI) of 33.8 and 30.5 m³ ha⁻¹ yr⁻¹, respectively. Clone C219 was less productive due to its higher susceptibility to wind damage, mainly at 9 m layouts. For both clones, the 6,0 m² tree⁻¹ spacing showed the larger production, 212 m³ ha⁻¹ and 92 Mg ha⁻¹, with a drop of 10% and 18% for the 10,5 and 15,0 m² tree⁻¹ spacing. Forest yield reduced with the increase in between-row spacing, and the 3 m layout, with 34.0 m³ ha⁻¹ yr⁻¹ and 14.6 Mg ha⁻¹ yr⁻¹, was 16% superior to the 9 m one. Yield prediction regression, per clone, was obtained as a function of spacing and layout. A reduction in forest uniformity among trees increased with increasing age, lower spacing and higher rectangularity.

Key-words: Spacing; Layout; Rectangularity; Stocking; *Eucalyptus*

1 INTRODUÇÃO

O eucalipto vem sendo o gênero florestal mais plantado, pelas empresas de reflorestamento, devido ao seu rápido crescimento e fácil adaptação às diferentes condições edafoclimáticas existentes no Brasil (BERGER et al., 2002). Além disso, a crescente demanda de madeira oriunda destas plantações florestais estimula a busca de florestas cada vez mais produtivas, o que torna os produtos florestais mais competitivos no mercado madeireiro (STAPE, 1996).

A influência do espaçamento de plantio sobre a produção de madeira ao final da rotação tem despertado o interesse de vários pesquisadores e empresas florestais desde o início do seu plantio em larga escala no Brasil (FISHWICK, 1976; COUTO et al., 1977; BALLONI; SIMÕES, 1980; BALLONI, 1983; MORA, 1986). Segundo Berger et al. (2002), é consagrado que espaçamentos menores produzem árvores com diâmetros reduzidos em virtude de maior competição entre as plantas pelos recursos do meio, como água, nutrientes e luz. Porém, em termos de produção total por área, estes menores espaçamentos apresentam maior área basal e volume por hectare, para uma determinada idade.

Portanto, além de afetar de forma marcante a produção, o espaçamento tem uma série de implicações do ponto de vista silvicultural, tecnológico e econômico: interfere nas taxas de crescimento e sobrevivência das plantas, no volume de copa e galhos, na qualidade da madeira, na porcentagem de casca, na idade de corte, bem como nas práticas de colheita e manejo florestal e, conseqüentemente, nos custos de produção florestal (STAPE et al., 1988; MARQUEZ, 1997; LELES et al., 1998).

No entanto, a escolha do espaçamento de plantio acaba sendo, muitas vezes, fundamentada apenas no uso final da madeira (BALLONI; SIMÕES, 1980), negligenciando outros aspectos ecológicos ou silviculturais de elevada importância para o crescimento da espécie, como a disponibilidade hídrica e a interceptação de luz (GONÇALVES et al., 2004).

Segundo Stape (1995), para um mesmo espaçamento inicial, é possível a utilização de diferentes arranjos de plantio, isto é, diferentes distâncias entrelinhas e entreplantas. À relação entre a maior e a menor destas duas distâncias denomina-se retangularidade (R , sendo $R \geq 1$). De acordo com Gonçalves et al. (2004), para um determinado espaçamento, arranjos de plantio que tendem a aumentar a retangularidade podem ser utilizados como forma de reduzir os custos das atividades de preparo de solo (menor área subsolada) e facilitar a colheita final da madeira.

Por outro lado, Stape (2004) apresenta que o aumento da retangularidade pode diminuir a uniformidade da floresta, além de aumentar os riscos de competição com plantas daninhas e danos por ventos. Binkley et al. (2002) sugerem que a redução da uniformidade das florestas tende a reduzir a produtividade devido à menor eficiência do uso de recursos pelas árvores dominadas.

Apesar de haver grande disponibilidade de dados empíricos sobre o efeito do espaçamento inicial na produção e sortimento de madeira do *Eucalyptus* (COELHO et al., 1970; BALLONI, 1983; GORGULHO, 1990; GOMES, 1994; FONSECA, 1997; BERGER et al., 2002), poucas informações estão disponíveis sobre o efeito do arranjo de plantio na produção florestal. Rezende (1981) e Stape (1995) salientam que existe ainda a constante necessidade de estudos de espaçamento de plantio para novos materiais genéticos introduzidos através do melhoramento. Além disso, os processos ecofisiológicos relacionados ao desenvolvimento da copa e competição entre árvores são quase inexistentes na literatura nacional (STAPE, 2002), limitando as simulações do efeito dos espaçamentos e arranjos de plantio na produtividade florestal. Desta forma, as produtividades de novos materiais genéticos implantados sob diferentes espaçamentos e arranjos, sem os devidos estudos pertinentes, podem ficar prejudicadas.

Assim, o presente trabalho buscou avaliar os efeitos de três diferentes espaçamentos (6,0, 10,5 e 15,0 m² planta⁻¹) e três arranjos de plantio (fixando-se as distâncias entrelinhas em 3,0, 6,0 e 9,0 metros, originando diferentes retangularidades), na produtividade e uniformidade de dois clones de *Eucalyptus* selecionados para a região nordeste do Estado de São Paulo; e tendo os seguintes objetivos:

1. Identificar os espaçamentos e arranjos de plantio que resultem na maior produtividade florestal para os dois materiais genéticos, ao longo de 6 anos;
2. Verificar a alocação da biomassa na parte aérea da floresta em função dos fatores clone, espaçamento e arranjo; e
3. Estabelecer modelos de inferência da produtividade florestal em função do espaçamento e distância entrelinhas, ou do espaçamento e retangularidade, para os dois clones.

Assim, as hipóteses testadas no presente experimento, para uma rotação de 6 anos, foram:

- i. A produtividade florestal será maior no menor espaçamento (BERGER et al., 2002);
- ii. A produtividade florestal será maior nos arranjos com retangularidade próxima à unidade (ASSIS et al., 1999);
- iii. A uniformidade florestal será maior nos arranjos com retangularidade próxima à unidade (STAPE, 2004); e
- iv. A maior alocação percentual de biomassa para o lenho irá ocorrer nos menores espaçamentos (LELES et al., 2001).

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão de literatura

A produção madeireira para uma determinada espécie florestal é dependente das variáveis climáticas e edáficas predominantes ao longo do seu desenvolvimento, podendo tal produção ser modulada quantitativa e qualitativamente pelo manejo florestal adotado, a começar pela escolha do espaçamento de plantio (ASSMANN, 1970; FISHER; BINKLEY, 2001).

Chapman e Allan (1978) e Evans (1992) citam que diversos aspectos precisam ser observados na escolha de determinado espaçamento de plantio, como clima e disponibilidade hídrica, espécie, grau de melhoramento, idade de planejamento de corte, competição com plantas daninhas, uso desejado da madeira, investimentos disponíveis e a qualidade da madeira a ser produzida.

A escolha do espaçamento inicial de plantio tem influência nas características da árvore e do povoamento e a decisão de adotar um determinado espaçamento e arranjo de plantio depende do conjunto de fatores de natureza ambiental, silvicultural e econômico-financeira (ZOBEL, 1987). Balloni e Simões (1980) citam ainda que o espaçamento influencia, de forma direta, a taxa de crescimento das árvores, a taxa de crescimento do povoamento, a qualidade e o sortimento de madeira, os tratos culturais, os custos de implantação, manutenção e colheita florestal, a conservação do solo e a própria rentabilidade da floresta.

2.1.1 Efeito do espaçamento na produtividade

Um dos principais aspectos envolvidos no manejo florestal refere-se à correta escolha da densidade de árvores por unidade de área, no plantio e ao longo do ciclo da floresta, pois ela influenciará tanto o crescimento individual das plantas como também o seu crescimento conjunto. Esta densidade, determinada pelas distâncias entrelinhas e entreplantas, é uma variável de grande interesse, sendo continuamente estudada em

virtude da constante introdução de novas espécies, procedências e clones, bem como devido à expansão de novos projetos florestais em sítios distintos (STAPE, 1995).

Para as condições brasileiras, com florestas plantadas equiâneas, populações iniciais de 830 a 2.500 plantas de *Eucalyptus* por hectare (4 a 12 m² por árvore) têm sido usualmente utilizadas (BALLONI; SIMÕES, 1980; SIMÕES et al., 1981).

Do ponto de vista silvicultural, os plantios com menor espaçamento atingem a capacidade do sítio mais rapidamente, com a diminuição das dimensões dos produtos obtidos (ASSMANN, 1970). Porém, as diferenças iniciais de produção tornam-se cada vez menores com a idade, se anulando quando as árvores mais espaçadas utilizam completamente os recursos naturais disponíveis, resultando numa produção equivalente por hectare em todos os espaçamentos (BERGER et al., 2002).

Avaliando a produção de *E. camaldulensis*, *E. pellita* e *E. urophylla* estabelecidas em três espaçamentos (4,5, 9,0 e 12,0 m² planta⁻¹) em região de cerrado, em Minas Gerais, Ladeira et al. (2001) verificaram que, com base na média para as três espécies, a biomassa de lenho produzida aos 7 anos no espaçamento de 4,5 m² planta⁻¹ (54,5 Mg ha⁻¹) foi, respectivamente, 20,9 e 28,6% superior à produzida nos espaçamentos de 9 m² planta⁻¹ (43,1 Mg ha⁻¹) e 12 m² planta⁻¹ (38,9 Mg ha⁻¹). Os autores indicam a utilização do espaçamento de 4,5 m² planta⁻¹ para a região de estudo, desde que o produto final não requeira árvores de grandes dimensões.

A produção de biomassa de *E. camaldulensis* em resposta ao espaçamento e a quatro níveis de adubação, também na região de cerrado em Minas Gerais, foi estudada por Oliveira Neto et al. (2003). Os autores observaram que nos menores espaçamentos houve maior acúmulo de biomassa no lenho por hectare, encontrando uma produção (resultados médios dos quatro níveis de adubação) de 22,3, 20,0, 16,3 e 15,5 Mg ha⁻¹ para os espaçamentos de 6, 9, 12 e 15 m² planta⁻¹, respectivamente, aos 3 anos de idade. Nota-se que nesta idade as produções nos espaçamentos de 6 e 9 m² planta⁻¹ já se equivaliam.

O crescimento em diâmetro, altura e volume de um clone de *E. saligna* em 3 espaçamentos (6, 9 e 12 m² planta⁻¹) e dois níveis de fertilização no município de Barra do

Ribeiro (RS) foi analisado por Berger et al. (2002). Na idade de 10 anos, os autores verificaram que a produção média em volume comercial sem casca por hectare foi menor para o espaçamento de 12 m² planta⁻¹ (520 m³ ha⁻¹), sendo que praticamente não diferiu entre os espaçamentos de 6 e 9 m² planta⁻¹ (610 m³ ha⁻¹).

Leles et al. (2001) caracterizaram o crescimento em diâmetro e altura, a produção e a alocação de matéria seca de *E. camaldulensis* e *E. pellita* nos espaçamentos de 3,0, 4,5, 6,0, 9,0, 12,0, 15,0, 18,0, 24,0 e 81,0 m² planta⁻¹ em região de cerrado em Minas Gerais, mas sem repetição das unidades experimentais. Os autores observaram que, à medida que se ampliou o espaçamento de plantio, as produções de biomassa de madeira e da parte aérea por árvore aumentaram. No entanto, por hectare, a maior produção de madeira foi obtida nos menores espaçamentos, havendo contínuo decréscimo com o seu aumento. As maiores produções de biomassa do lenho, aos 4,5 anos, foram obtidas nos espaçamentos de 3,0, 4,5 e 6,0 m² planta⁻¹, com valores médios de 42,0 Mg ha⁻¹ para ambas as espécies. Os autores também destacaram que, nos maiores espaçamentos, ocorreu uma maior alocação de assimilados para os galhos em detrimento da produção de madeira.

2.1.2 Efeito do arranjo na produtividade

De acordo com Assis et al. (1999) as empresas reflorestadoras, de maneira geral, estão muito empenhadas no desenvolvimento de técnicas que visem o aumento da produtividade e a redução de custos operacionais, sendo contemplados estudos que envolvam a adoção de novos espaçamentos e, principalmente, de diferentes arranjos de plantio.

Segundo Leles et al. (2001), a partição de matéria seca para o lenho, que é o componente das árvores normalmente de maior valor comercial, é de grande importância na tomada de decisões quanto à escolha de técnicas de manejo a serem adotadas na condução da floresta, como o arranjo de plantio.

Teoricamente, o melhor arranjo de plantio seria aquele que propiciasse a melhor distribuição de recursos do meio para as plantas, como o plantio em quinquêncio, por exemplo (ASSMANN, 1970). Stape (1995) verificou que o plantio em quinquêncio proporcionou aumento de 6% em volume para o *E. dunnii* aos 6 anos de idade em relação ao plantio convencional, no espaçamento de $9 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$ (3 x 3 m).

Leles et al. (2001), no estudo sobre a produção e a alocação de matéria seca de *E. camaldulensis* e *E. pellita* em diferentes espaçamentos, também avaliaram os efeitos dos arranjos de 3, 6 e 9 metros na entrelinha, porém o espaçamento de plantio não foi fixado. Os arranjos testados foram 3,0 x 5,0 m ($15,0 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$), 6,0 x 4,0 m ($24,0 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$) e 9,0 x 9,0 m ($81,0 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$). As produções de matéria seca de lenho por hectare aos 4,5 anos (médias das duas espécies) foram de 35,5, 30,0 e 15,2 Mg ha^{-1} , nesta ordem. No entanto, estes dados não podem avaliar o efeito do arranjo, pois estes variaram com o espaçamento.

Assis et al. (1999) avaliaram os efeitos de diferentes arranjos de plantio na produção de biomassa de *E. urophylla* na região de cerrado de Minas Gerais, em delineamento inteiramente casualizado. Neste estudo, os autores fixaram o espaçamento em $9,0 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$, utilizando os seguintes arranjos de plantio: 3,0 x 3,0 m (R = 1), 4,0 x 2,25 m (R = 1,78), 5,0 x 1,8 m (R = 2,8), 6,0 x 1,5 m (R = 4) e 9,0 x 1,0 m (R = 9). Aos 4 anos, os autores encontraram redução expressiva da biomassa de tronco por hectare com o aumento da retangularidade, com produções de $54,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ no arranjo de 3 metros e de $36,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ no arranjo de 9 metros, sugerindo a adoção de distâncias próximas a 3 m na entrelinha para plantios de eucalipto na região do estudo.

2.1.3 Efeito do arranjo na uniformidade

De acordo com Berger et al. (2002), a utilização de clones para a formação de florestas foi um dos grandes avanços que possibilitou maior produção, melhoria da qualidade da madeira e, especialmente, maior uniformidade das árvores na silvicultura brasileira.

Devido ao seu rápido crescimento, o eucalipto é bastante sensível à competição pelos recursos do meio, como água, nutrientes e luz, sendo comum a observação de uma rápida segregação dos indivíduos em um talhão com espaçamentos menores, onde são identificadas árvores dominantes, codominantes e dominadas (HILLIS; BROWN, 1978). Assim, a garantia da uniformidade não depende apenas da genética, uma vez que os fatores ambientais podem variar entre indivíduos devido à qualidade das operações silviculturais, como preparo de solo, fertilização e controle da matocompetição, afetando o crescimento individual das árvores e acelerando a competição intra-específica e, conseqüentemente, reduzindo a produtividade florestal (STAPE et al., 2004).

A adoção de espaçamentos e arranjos de plantio inadequados pode intensificar a competição intra-específica, reduzindo a uniformidade de crescimento entre árvores e aumentando a quantidade de árvores dominadas, as quais possuem menor eficiência de utilização dos recursos do meio comparadas às árvores dominantes (BINKLEY et al., 2002).

Vale et al. (1982) e Leite et al. (1997) observaram que a adoção de espaçamentos muito reduzidos acarretou a produção de toras de pequeno diâmetro e um grande número de falhas e de árvores dominadas, comprometendo de forma expressiva o volume final produzido.

2.2 Material e métodos

2.2.1 Localização

O experimento foi instalado em outubro de 1998 na fazenda Águas Virtuosas, de propriedade da Votorantim Celulose e Papel S. A. - Unidade Florestal, localizada no município de Altinópolis, Estado de São Paulo, cujas coordenadas geográficas são 21°08'S e 47°29'W e altitude de 604 m.

2.2.2 Clima

O clima da região é do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen, sendo caracterizado como um clima tropical úmido, com inverno seco e chuvas máximas de verão, e temperatura média no mês mais frio acima de 18,0° C. A temperatura média anual é de 21,5° C e a precipitação anual média varia de 1.100 a 1.700 mm. Rizzo (2001) compilou dados climatológicos dos bancos de dados do INMET e IAC, obtendo o balanço hídrico histórico (1991 a 2001) da região de Altinópolis-SP (Figura 1).

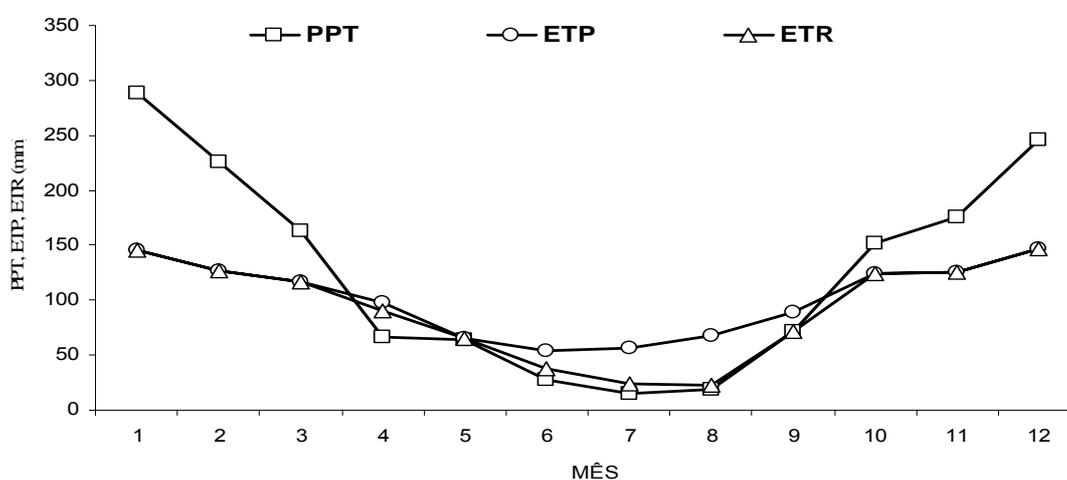


Figura 1 – Balanço hídrico climatológico para a região de Altinópolis-SP utilizando dados históricos para uma capacidade de água disponível de 50 mm. PPT = precipitação, ETP = evapotranspiração potencial, ETR = evapotranspiração real

Fonte: Rizzo (2001)

Considerando uma capacidade de água disponível de 50 mm, devido ao solo arenoso da região, há déficit hídrico de 120 mm durante os meses de junho a setembro. As maiores precipitações ocorrem entre dezembro e fevereiro, com valores superiores a 200 mm mês⁻¹.

No dia 27 de abril de 2004 houve uma forte tempestade na região onde o experimento estava instalado, com ventos que atingiram a velocidade de 60 Km por hora, resultando na quebra de árvores dentro do experimento, o que possibilitou a avaliação da diferença entre clones, espaçamentos e arranjos na estabilidade das árvores. Na mesma

região, outros ensaios já foram afetados por ventos desta mesma magnitude (STAPE et al., 2004).

2.2.3 Solo

De acordo com Rizzo (2001), o solo da área experimental é classificado como Neossolo Quartzarênico, Álico ou Distrófico, Órtico típico, A fraco ou moderado, textura arenosa, relevo plano a suave ondulado. O material de origem dos solos é derivado da alteração e pedogênese de rochas sedimentares arenosas das formações Pirambóia e Botucatu, originalmente pobres em termos geoquímicos, onde domina o quartzo como principal mineral formador das rochas. Na Tabela 1 é apresentado um resumo dos principais dados analíticos por profundidade do local do ensaio.

Tabela 1 – Análise química e granulométrica do Neossolo Quartzarênico do local do ensaio

Prof. (cm)	MO g Kg ⁻¹	P mg Kg ⁻¹	K -----mmol _c Kg ⁻¹ -----	Ca	Mg	H+Al	T	V (%)	Areia	Silte (%)	Argila
0-15	12,5	5	0,20	0,40	0,30	49,58	50,48	2	95	3	2
16-50	8,5	2	0,20	0,20	0,20	30,86	31,46	2	94	3	3
50-120	8,7	2	0,10	0,20	0,10	23,46	23,87	2	93	5	2
150-200	5,3	1	0,10	0,10	0,10	12,47	12,78	2	93	5	2

Fonte: Rizzo (2001).

2.2.4 Material genético

Foram avaliados dois clones híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla* da Votorantim Celulose e Papel S. A., denominados C041 e C219, testados e recomendados para as condições edafoclimáticas do ensaio. Estes clones foram escolhidos por possuírem distintas arquiteturas de copa, com o C041 possuindo copa mais larga, enquanto o C219 possui copa mais colunar, e que poderiam resultar em comportamentos diferenciados de crescimento em função dos espaçamentos e arranjos avaliados.

As mudas foram produzidas no viveiro da fazenda Cara Preta, no município de Luis Antonio – SP, por macroestaquia, tendo como substrato uma mistura de 60% de turfa, 20% de vermiculita e 20% de palha de arroz carbonizada. O período de produção foi de 70 dias e foram selecionadas para plantio mudas sadias, com altura entre 20 e 30 cm.

2.2.5 Delineamento experimental

O ensaio consistiu de um fatorial completo 2 x 3 x 3, com dois materiais genéticos (clones C041 e C219), três espaçamentos (6,0, 10,5 e 15,0 m² planta⁻¹) e três arranjos, fixando-se as distâncias entrelinhas em 3,0, 6,0 e 9,0 metros, originando diferentes retangularidades, num total de 18 tratamentos (Tabela 2). O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com 4 repetições, e as 72 unidades experimentais tiveram as dimensões de 30 x 30 metros (900 m²).

Tabela 2 – Descrição dos 18 tratamentos do fatorial 2 x 3 x 3 (2 clones, 3 espaçamentos e 3 arranjos), com área útil e número de plantas úteis

Tratamentos		Espaçamento	Arranjo	Retangularidade	Área útil parcela	Nº plantas
C041	C219	(m ² planta ⁻¹)	(m x m)	(adimensional)	(m ²)	úteis
1	10		3,00 x 2,00	1,50	396,0	66
2	11	6,0	6,00 x 1,00	6,00	468,0	78
3	12		9,00 x 0,67	13,43	468,0	78
4	13		3,00 x 3,50	1,17	315,0	30
5	14	10,5	6,00 x 1,75	3,43	409,5	39
6	15		9,00 x 1,17	7,69	441,0	42
7	16		3,00 x 5,00	1,67	180,0	12
8	17	15,0	6,00 x 2,50	2,40	360,0	24
9	18		9,00 x 1,67	5,39	420,0	28

No arranjo de 3 metros foi utilizada bordadura dupla e nos arranjos de 6 e 9 metros utilizou-se bordadura simples. A área total do experimento foi de 6,48 ha. As Figuras 2 e 3 ilustram o croqui de instalação do experimento em blocos casualizados e o croqui das parcelas, respectivamente.

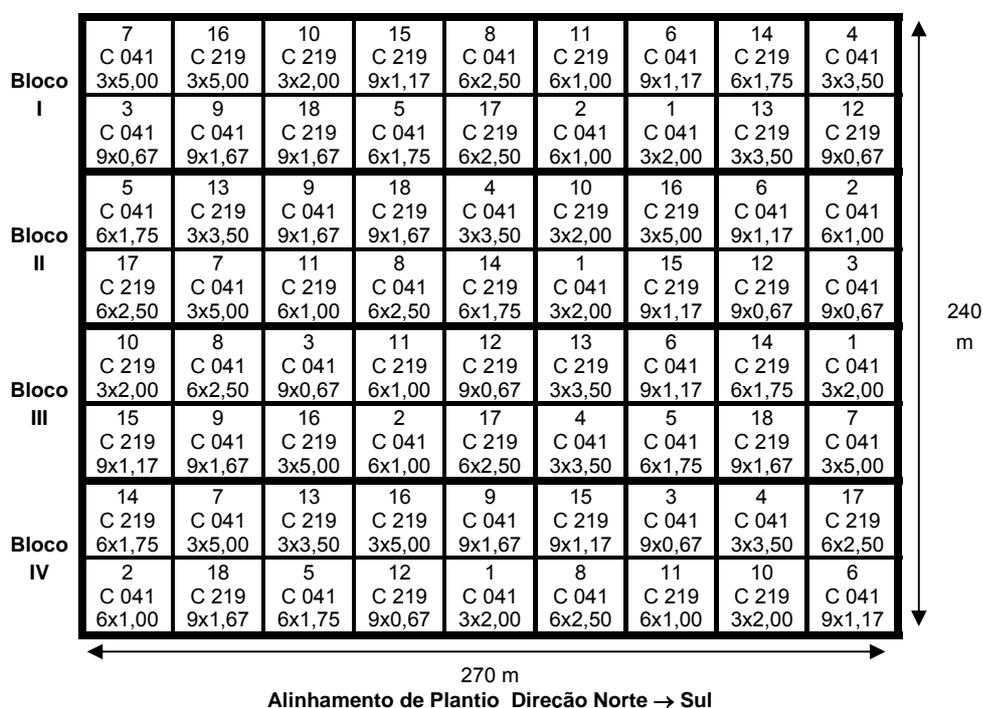


Figura 2 – Croqui de instalação do experimento em blocos casualizados, identificando o número do tratamento, o clone e os arranjos em cada uma das 72 parcelas do ensaio

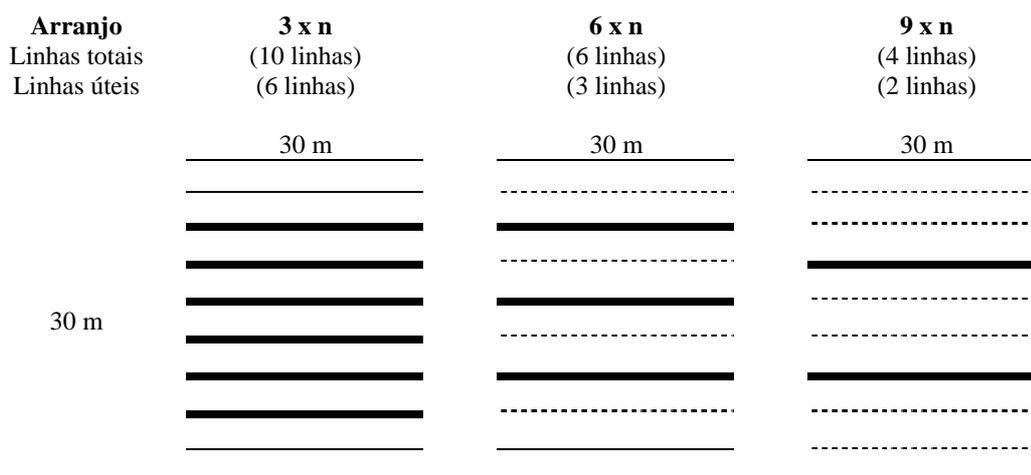


Figura 3 – Croqui das parcelas experimentais por arranjo, identificando as linhas da parcela útil (negrito) e as das bordaduras (linhas simples). As linhas pontilhadas representam linhas sulcadas, mas não plantadas

2.2.6 Práticas silviculturais

O preparo de solo para instalação do experimento constituiu no sulcamento, a 30 cm de profundidade, de todas as linhas e o plantio ocorreu no dia 07 de outubro de 1998.

A fertilização foi padronizada por área, à base de 290 Kg ha⁻¹ da formulação NPK 04:28:06 + 0,3% Cobre + 0,7% Zinco no plantio aplicados em covetas laterais, 150 Kg ha⁻¹ da formulação 10:00:20 + 0,3% Boro + 2,4% Magnésio aos 3 meses de idade aplicados em coroa, 100 Kg ha⁻¹ de KCl + 1,5% Boro aos 6 meses aplicados em filete contínuo e 150 Kg ha⁻¹ de KCl + 1,5% Boro aos 12 meses de idade aplicados em filete contínuo. A calagem foi realizada na ocasião do plantio com aplicação de 2 t ha⁻¹ de calcário dolomítico a lanço. Todas estas adubações vieram a fornecer 27 Kg ha⁻¹ de N, 81 Kg ha⁻¹ de P₂O₅, 167 Kg ha⁻¹ de K₂O, 408 Kg ha⁻¹ de Ca, 148 Kg ha⁻¹ de Mg, 3,5 Kg ha⁻¹ de B, 1,0 Kg ha⁻¹ de Cu e 2,0 Kg ha⁻¹ de Zn, quantidades consideradas adequadas para suprir as exigências nutricionais das plantas de eucalipto para produtividade esperada para a região acima de 30 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ (GONÇALVES et al., 1996).

As formigas cortadeiras foram controladas sistematicamente, com a utilização de iscas formicidas à base de sulfluramida. Desde o plantio e durante toda a fase de crescimento, o experimento permaneceu livre de matocompetição em função da baixa infestação de plantas daninhas e das práticas de capinas químicas efetuadas sempre que necessário. Este controle rigoroso de plantas daninhas foi adotado para eliminar qualquer outra causa que pudesse afetar a produtividade, que não fossem estritamente o espaçamento ou o arranjo de plantio. Assim, procurou-se garantir que as possíveis respostas de produtividade dos materiais genéticos fossem efetivamente devidas aos fatores estudados.

2.2.7 Avaliações

2.2.7.1 Dendrométricas

O experimento foi avaliado aos 1,0, 1,5, 3,0, 4,0, 5,0 e 6,0 anos, coletando-se os dados individuais referentes ao DAP e altura total das árvores úteis em cada uma das

parcelas instaladas. Árvores mortas e quebradas não foram computadas nas análises. O DAP médio e a altura média de cada parcela foram determinados pela média de todos os DAPs e alturas totais da parcela. A área basal por hectare, de cada parcela, foi determinada somando-se as áreas das seções transversais de todas as árvores da parcela e posterior expansão para hectare, com base na área útil das parcelas.

Para a obtenção dos volumes sólidos por árvore, foi utilizado o modelo de Shumacher e Hall, desenvolvido com base em árvores, abatidas e cubicadas, dos clones C041 e C219 na região (Tabela 3), expresso como:

$$V = a.DAP^b.H^c \quad (1)$$

Onde: V = volume total da árvore com casca (m^3 árvore⁻¹); DAP = diâmetro à altura do peito (cm); H = altura total (m); a, b e c são os coeficientes do modelo.

Tabela 3 – Coeficientes e estatísticas do modelo $V = a.DAP^b.H^c$ utilizado para determinação dos volumes individuais das árvores do ensaio

Clone	Coeficientes			Estatística		
	a	b	c	F	R ²	N
C041	0,00003369	1,7145489	1,2601402	43549,77**	0,98	93
C219	0,00005809	2,1115883	0,7414599	23183,67**	0,98	53

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

O volume sólido total por hectare foi calculado, por parcela, através da soma dos volumes individuais de cada árvore, expandindo-se por hectare com base na área útil das parcelas.

O afilamento da árvore, ou taper, representa a redução de diâmetro para cada metro ao longo do fuste, sendo expressa em $cm\ m^{-1}$. O valor do taper foi calculado, dividindo-se, para cada parcela, os valores médios de DAP e altura nas idades de 1 a 6 anos.

2.2.7.2 Biomassa da parte aérea da árvore média

A biomassa da parte aérea foi determinada aos 6 anos através de amostra destrutiva de árvores. Uma árvore de diâmetro médio de cada parcela foi amostrada, na sua bordadura, totalizando 72 árvores avaliadas. Foram determinados os pesos verdes totais de folhas, galhos, casca e lenho separadamente e coletadas amostras para determinação do teor de umidade em cada compartimento da árvore. O peso verde de cada amostra foi obtido no campo e o peso seco em laboratório, após secagem em estufa a temperatura aproximada de 60 °C, até peso constante. A partir da relação entre o peso verde total e o peso seco das amostras, determinou-se a biomassa de cada componente, em kg árvore⁻¹, e a sua alocação percentual em relação à biomassa total da parte aérea.

Os dados de biomassa por árvore foram também utilizados para estimar as equações de biomassa da parte aérea para cada clone, expressas como:

$$B_i = a \cdot \text{DAP}^b \cdot H^c \quad (2)$$

Onde: B_i = biomassa do compartimento i da árvore (Kg árvore⁻¹); DAP = diâmetro à altura do peito (cm); H = altura total (m); a, b e c são os coeficientes do modelo.

Tabela 4 – Coeficientes e estatísticas do modelo $B_i = a \cdot \text{DAP}^b \cdot H^c$ utilizado para determinação da biomassa dos compartimentos

Clone	Compartimento	Coeficientes			Estatística		
		a	b	c	F	R ²	N
C041	Lenho	0,00034	1,02939	3,02561	272,11**	0,93	36
	Casca	0,00059	1,15299	2,00335	91,10**	0,83	36
	Galho	0,00014	1,14535	2,15031	23,45**	0,56	36
	Folha	0,000001	0,73897	4,01562	32,14**	0,64	36
C219	Lenho	0,0050	1,59221	1,71249	110,22**	0,86	36
	Casca	0,00038	1,47645	1,84076	129,80**	0,88	36
	Galho	0,0000003	0,67705	4,56268	34,60**	0,65	36
	Folha	0,0000052	1,32725	2,95196	35,13**	0,66	36

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

2.2.7.3 Biomassa da parte aérea por hectare

As equações da Tabela 4 foram utilizadas para determinar, aos 6 anos, a biomassa de cada compartimento em cada indivíduo. A biomassa da parte aérea por hectare foi calculada, para cada parcela, pela soma das biomassas de cada árvore (por compartimento), expandindo-se por hectare, com base na área útil de cada uma.

2.2.7.4 Avaliação da uniformidade

Para esta avaliação foram utilizados os volumes individuais das árvores úteis do clone C041 apenas, pois o clone C219 apresentou alta porcentagem de árvores quebradas a partir do 3º ano, interferindo na análise de dominância entre árvores.

Para avaliar a competição entre árvores, utilizou-se a metodologia descrita por Binkley et al. (2003), onde graficamente ordena-se no eixo x as árvores em ordem crescente de volume, e no eixo y os volumes acumulados. Para cada parcela identifica-se a porcentagem de volume acumulado para 50% das menores árvores. Se todas as árvores da parcela fossem iguais, estes valores deveriam ser de 50%, ou seja, 50% das menores árvores representariam 50% do volume acumulado, e graficamente a relação seria vista por uma reta 1:1. Neste método, uma menor porcentagem de volume acumulado representa uma maior estratificação ou dominância entre árvores.

2.2.7.5 Modelos de predição da produtividade

Foram estabelecidos dois modelos de inferência da produtividade para cada clone. No primeiro modelo a variável dependente foi o Incremento Médio Anual (IMA, em $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) e as variáveis independentes foram o espaçamento (E) e a distância entrelinhas (A), seus quadrados (E^2 , A^2) e inversos (E^{-1} , A^{-1}). No segundo modelo, a variável dependente foi o logaritmo natural do Incremento Médio Anual (IMA) e as variáveis independentes foram o logaritmo natural do espaçamento (E) e o logaritmo natural da retangularidade (R). As análises de regressão lineares foram efetuadas com o pacote estatístico SAS[®] 8.1 (2001),

pelo método “stepwise”, retendo-se apenas as variáveis independentes com alta significância nos modelos ($P < 0.05$).

2.2.8 Análise estatística

Para as variáveis analisadas no nível de parcela (DAP, altura, área basal, volume individual, volume por hectare, taper, sobrevivência, quebra, biomassa da parte aérea por árvore e biomassa da parte aérea por hectare) realizou-se a análise de variância (ANOVA) tendo bloco, clone, espaçamento e arranjo como fatores principais, para cada idade. As análises das variáveis sobrevivência e quebra foram realizadas utilizando-se a transformação dos dados originais por estarem expressas em porcentagem. As análises foram feitas com pacote estatístico SAS[®] 8.1 (2001), sendo utilizado o teste de comparação de médias, Tukey, ao nível de 5% de significância para controle do erro tipo I.

Não foram observadas interações significativas entre os fatores clone, espaçamento e arranjo, para a maioria das variáveis analisadas, sendo então apresentados diretamente os resultados médios por fator. No entanto, houve interação significativa clone x arranjo para as variáveis área basal, volume e porcentagem de quebra, ao longo de quase todo o ensaio, de forma que são então apresentados resultados ou gráficos específicos, destacando estas interações.

2.3 Resultados e discussão

2.3.1 Sobrevivência, quebra, DAP, altura, taper, área basal, volume individual e volume por hectare

Nas Tabelas 5 e 6 são apresentados, respectivamente, os valores médios de sobrevivência (%) e árvores quebradas (%), para cada fator avaliado, nas idades de 1 a 6 anos.

Tabela 5 – Valores médios de sobrevivência (%) para os fatores clone, espaçamento e arranjo nas idades de 1 a 6 anos

Sobrevivência (%)		Idade (anos)					
Fator	Nível	1,0	1,5	3,0	4,0	5,0	6,0
Clone	C041	98,51 b	98,23 a	98,19 a	97,94 a	97,86 a	94,90 a
	C219	99,74 a	99,09 a	98,54 a	94,09 b	93,82 b	90,21 b
	¹ DMS	0,78	1,13	1,18	1,89	1,98	2,17
Espaçamento (m ² planta ⁻¹)	6,0	98,50 a	98,23 a	97,85 a	95,69 a	95,41 a	92,74 a
	10,5	99,21 a	98,62 a	98,62 a	96,50 a	96,40 a	93,33 a
	15,0	99,65 a	99,13 a	98,63 a	95,86 a	95,72 a	91,61 a
	DMS	1,15	1,66	1,75	2,78	2,91	3,19
Arranjo (m)	3	99,03 a	98,33 a	98,34 a	96,38 a	96,32 a	93,13 a
	6	99,12 a	98,57 a	97,95 a	96,01 a	95,85 a	92,44 a
	9	99,22 a	99,07 a	98,81 a	95,65 a	95,35 a	92,10 a
	DMS	1,15	1,66	1,75	2,78	2,91	3,19

¹DMS = diferença mínima significativa (Tukey, $P=0,05$). Valores dos níveis dos fatores seguidos da mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si.

Tabela 6 – Valores médios de árvores quebradas (%) para os fatores clone, espaçamento e arranjo nas idades de 1 a 6 anos

Quebra (%)		Idade (anos)					
Fator	Nível	1,0	1,5	3,0	4,0	5,0	6,0
Clone	C041	0	0	0,07 b	0,07 b	0,07 b	0,26 b
	C219	0	0	1,78 a	3,49 a	5,43 a	5,95 a
	¹ DMS	0	0	0,95	1,39	1,87	2,13
Espaçamento (m ² planta ⁻¹)	6,0	0	0	1,56 a	2,18 a	3,10 a	2,66 a
	10,5	0	0	1,21 ab	2,51 a	3,91 a	4,32 a
	15,0	0	0	0 b	0,64 a	1,24 a	2,33 a
	DMS	0	0	1,41	2,04	2,76	3,13
Arranjo (m)	3	0	0	0,06 b	1,02 b	1,42 b	1,29 b
	6	0	0	0,53 b	0,53 b	1,23 b	1,79 b
	9	0	0	2,17 a	3,78 a	5,60 a	6,22 a
	DMS	0	0	1,46	2,04	2,76	3,13

¹DMS = diferença mínima significativa (Tukey, $P=0,05$). Valores dos níveis dos fatores seguidos da mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si.

Com relação à sobrevivência, não existem diferenças significativas entre os espaçamentos e arranjos de plantio avaliados, todos apresentando, aos 6 anos, valores

superiores a 91%. Apenas para o fator clone verifica-se, a partir do 4º ano, maior sobrevivência do clone C041 em relação ao C219.

Quanto à quebra de árvores, a partir do 3º ano, há um aumento significativo da porcentagem de árvores quebradas para o clone C219, especialmente no arranjo de 9 metros (12,4% aos 6 anos). Esta quebra mais elevada pode ser atribuída a uma maior sensibilidade deste clone ao vento em virtude de características físicas da madeira, pois na própria empresa já existem registros de quebra deste material genético em outras regiões do Estado de São Paulo. No arranjo de 9 metros, a maior proximidade das plantas nas linhas de plantio, forma uma barreira maior à passagem dos ventos, podendo também favorecer a quebra de árvores. Assim, enquanto o clone C041 não foi afetado pelo vento, independente do arranjo, o clone C219 foi mais afetado nas maiores distâncias entrelinhas.

Os valores médios de DAP (cm) por fator avaliado, nas idades de 1 a 6 anos, são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Valores médios de DAP (cm) para os fatores clone, espaçamento e arranjo nas idades de 1 a 6 anos

DAP (cm)		Idade (anos)					
Fator	Nível	1,0	1,5	3,0	4,0	5,0	6,0
Clone	C041	3,63 b	7,75 b	11,84 a	13,49 a	14,58 a	15,68 a
	C219	4,09 a	7,88 a	11,18 b	13,27 b	14,52 a	15,61 a
	¹ DMS	0,09	0,10	0,13	0,17	0,20	0,22
Espaçamento (m² planta⁻¹)	6,0	3,45 c	6,78 c	9,63 c	11,06 c	11,86 c	12,83 c
	10,5	3,98 b	8,04 b	11,81 b	13,68 b	14,88 b	15,99 b
	15,0	4,15 a	8,61 a	13,09 a	15,41 a	16,91 a	18,12 a
	DMS	0,13	0,15	0,19	0,25	0,30	0,32
Arranjo (m)	3	3,71 b	7,86 a	11,73 a	13,68 a	14,93 a	15,97 a
	6	3,89 a	7,87 a	11,60 a	13,48 a	14,66 a	15,81 a
	9	3,97 a	7,71 b	11,19 b	12,98 b	14,05 b	15,16 b
	DMS	0,13	0,15	0,18	0,25	0,30	0,32

¹ DMS = diferença mínima significativa (Tukey, $P=0,05$). Valores dos níveis dos fatores seguidos da mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si.

Apesar de pequenas alternâncias ao longo dos anos, os dois clones mostram bom crescimento, com valores semelhantes de DAP aos 6 anos (15,6 cm), demonstrando boa aptidão local.

Desde a primeira avaliação, nota-se uma resposta muito positiva do DAP ao aumento do espaçamento de plantio. Aos 6 anos, o valor médio de DAP de 18,1 cm, obtido no espaçamento de 15,0 m² planta⁻¹ é 13,3% e 41,2% maior que os obtidos nos espaçamentos de 10,5 e 6,0 m² planta⁻¹, respectivamente. Esta tendência, semelhante à observada por Balloni e Simões (1980), Sousa (1989) e Berger et al. (2002), reflete a maior disponibilidade de fatores produtivos do ambiente, como água, nutrientes e luz, aos indivíduos na medida em que espaçamentos mais amplos são utilizados.

Quanto ao arranjo de plantio, na avaliação realizada no 1º ano, a maior média de DAP é encontrada no arranjo de 9 metros e a menor no arranjo de 3 metros, porém no 6º ano a superioridade do arranjo de 3 metros em relação ao de 9 metros já é de 5,3%. Assis et al. (1999), avaliando o DAP do *E. urophylla* aos 4 anos, encontraram uma superioridade de 14,2% do arranjo de 3 metros em relação ao de 9 metros.

Estes resultados sugerem que decisões quanto à escolha do melhor arranjo de plantio, tomadas com base em avaliações precoces, podem levar à adoção de arranjos inadequados, que resultarão em menor produtividade ao final da rotação.

A Tabela 8 fornece os valores médios de altura (m) por fator avaliado, nas idades de 1 a 6 anos.

Tabela 8 – Valores médios de altura (m) para os fatores clone, espaçamento e arranjo nas idades de 1 a 6 anos

Altura (m)		Idade (anos)					
Fator	Nível	1,0	1,5	3,0	4,0	5,0	6,0
Clone	C041	4,52 b	9,46 b	16,65 a	19,95 a	22,53 a	23,63 a
	C219	5,27 a	9,71 a	15,74 b	19,60 b	21,93 b	23,11 b
	¹ DMS	0,15	0,16	0,19	0,22	0,28	0,27
Espaçamento (m² planta⁻¹)	6,0	4,88 a	9,55 ab	15,34 c	18,33 c	20,52 c	21,54 c
	10,5	4,99 a	9,75 a	16,48 b	20,23 b	22,63 b	23,81 b
	15,0	4,83 a	9,44 b	16,78 a	20,77 a	23,52 a	24,74 a
	DMS	0,22	0,23	0,28	0,32	0,41	0,41
Arranjo (m)	3 m	4,65 c	9,27 b	16,28 a	20,12 a	22,40 a	23,66 a
	6 m	4,88 b	9,49 b	16,26 a	19,72 b	22,34 a	23,48 a
	9 m	5,16 a	9,99 a	16,06 a	19,49 b	21,92 b	22,97 b
	DMS	0,22	0,23	0,28	0,32	0,41	0,41

¹DMS = diferença mínima significativa (Tukey, $P=0,05$). Valores dos níveis dos fatores seguidos da mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si.

O clone C219 apresenta um maior arranque inicial em altura, mas aos 6 anos o clone C041 é superior. Estas alturas médias caracterizam um sítio de média produtividade.

Para o fator espaçamento, as diferenças no crescimento em altura são mais significativas após o 3º ano, havendo, a partir desta idade, resposta muito positiva ao aumento do espaçamento. Aos 6 anos, o crescimento em altura no espaçamento de 15,0 m² planta⁻¹, com 24,7 m, é 3,8% e 14,9% superior ao encontrado nos espaçamentos de 10,5 e 6,0 m² planta⁻¹, respectivamente. Estes resultados divergem dos encontrados por Assis et al. (1999) e Berger et al. (2002), que não notaram respostas significativas do crescimento em altura com o aumento do espaçamento. Esta redução da altura média das plantas no espaçamento de 6,0 m² planta⁻¹ pode ser atribuída a uma competição mais precoce, estabelecida entre as plantas clonais pelos recursos do ambiente, resultando numa menor uniformidade entre árvores devido à maior quantidade de árvores dominadas.

Quanto ao fator arranjo, nas avaliações iniciais, os maiores valores de altura são encontrados no arranjo de 9 metros, provavelmente devido a uma maior competição por luz, uma vez que, neste arranjo, as distâncias entreplantas na linha de plantio são sempre as menores (retangularidade maior). Porém, aos 6 anos, a menor altura é encontrada

justamente no arranjo de 9 metros, diferindo estatisticamente dos valores encontrados para os arranjos de 3 e 6 metros. Assis et al. (1999) também verificaram, para *E. urophylla* aos 4 anos, diferenças significativas no crescimento em altura apenas para o arranjo de 9 metros, com valores de 15,1 m, e 13,1 m nos arranjos de 3 e 9 metros, respectivamente. Estes resultados sugerem, mais uma vez, que as decisões a serem tomadas na escolha do arranjo de plantio não devem ser baseadas somente nas avaliações iniciais.

A Tabela 9 mostra os valores médios de volume individual ($\text{m}^3 \text{árvore}^{-1}$), por fator avaliado, nas idades de 1 a 6 anos.

Tabela 9 – Valores médios de volume individual ($\text{m}^3 \text{árvore}^{-1}$) para os fatores clone, espaçamento e arranjo nas idades de 1 a 6 anos

Vol. Ind. ($\text{m}^3 \text{árvore}^{-1}$)		Idade (anos)					
Fator	Nível	1,0	1,5	3,0	4,0	5,0	6,0
Clone	C041	0,0022 b	0,0199 b	0,085 a	0,135 a	0,182 a	0,218 a
	C219	0,0042 a	0,0258 a	0,080 b	0,135 a	0,181 a	0,223 a
	¹ DMS	0,0003	0,0007	0,002	0,004	0,006	0,007
Espaçamento ($\text{m}^2 \text{planta}^{-1}$)	6,0	0,0026 b	0,0176 c	0,056 c	0,088 c	0,115 c	0,141 c
	10,5	0,0034 a	0,0243 b	0,086 b	0,140 b	0,186 b	0,227 b
	15,0	0,0037 a	0,0269 a	0,107 a	0,178 a	0,243 a	0,294 a
	DMS	0,0003	0,0011	0,003	0,006	0,009	0,010
Arranjo (m)	3 m	0,0029 a	0,0224 a	0,085 a	0,141 a	0,188 a	0,227 a
	6 m	0,0032 b	0,0229 a	0,084 a	0,137 a	0,184 a	0,225 a
	9 m	0,0036 c	0,0235 a	0,079 b	0,128 b	0,171 b	0,209 b
	DMS	0,0003	0,0011	0,003	0,006	0,009	0,010

¹ DMS = diferença mínima significativa (Tukey, $P=0,05$). Valores dos níveis dos fatores seguidos da mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si.

Os dois clones apresentam valores semelhantes de volume individual aos 6 anos ($0,22 \text{ m}^3 \text{árvore}^{-1}$), valor este desejável para a colheita mecanizada na empresa.

Aos 6 anos, nota-se que o volume individual obtido no espaçamento de $15 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$ é praticamente o dobro do observado no espaçamento de $6,0 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$ (de $0,14$ para $0,29 \text{ m}^3 \text{árvore}^{-1}$). O rendimento operacional de máquinas de colheita florestal, como harvester e feller-buncher, é muito dependente do volume individual das árvores, sendo desejáveis árvores de maior volume individual, visando à obtenção de um maior rendimento

operacional e, conseqüentemente, redução dos custos operacionais. Assim, a depender do impacto do tamanho das árvores no custo da colheita, o espaçamento de plantio deverá ser avaliado de forma conjunta entre as áreas de silvicultura e colheita.

Observa-se que o maior volume individual é obtido, aos 6 anos, no arranjo de 3 metros, sendo cerca de apenas 10% superior ao produzido no arranjo de 9 metros, indicando que, se o arranjo tiver efeito nos rendimentos operacionais de máquinas, não será devido ao volume individual, mas sim à distância entre árvores (distribuição espacial das árvores).

Destaca-se que estas diferenças no volume individual foram devidas efetivamente aos fatores estudados, sem a interferência de outras causas operacionais. Portanto, atividades silviculturais de baixa qualidade, como o controle de matocompetição e fertilização, por exemplo, poderão comprometer ainda mais o crescimento individual das árvores, acentuando as diferenças entre os fatores estudados.

Os valores médios de área basal ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$) e volume por hectare (Mg ha^{-1}), são apresentados nas Tabelas 10 e 11, respectivamente.

Tabela 10 – Valores médios de área basal ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$) para os fatores clone, espaçamento e arranjo nas idades de 1 a 6 anos

Área Basal ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$)		Idade (anos)					
Fator	Nível	1,0	1,5	3,0	4,0	5,0	6,0
Clone	C041	1,13 b	4,89 b	11,22 a	14,51 a	16,94 a	18,89 a
	C219	1,40 a	5,05 a	10,02 b	13,11 b	15,37 b	17,25 b
	¹ DMS	0,05	0,11	0,26	0,36	0,44	0,59
Espaçamento ($\text{m}^2 \text{planta}^{-1}$)	6,0	1,63 a	6,13 a	12,32 a	15,79 a	18,09 a	20,66 a
	10,5	1,22 b	4,86 b	10,46 b	13,57 b	15,87 b	17,77 b
	15,0	0,94 c	3,91 c	9,08 c	12,07 c	14,49 c	15,79 c
	DMS	0,08	0,17	0,38	0,53	0,65	0,87
Arranjo (m)	3	1,15 b	4,97 a	11,00 a	14,42 a	17,12 a	19,06 a
	6	1,28 a	5,03 a	10,75 a	14,14 a	16,55 a	18,54 a
	9	1,36 a	4,91 a	10,11 b	12,87 b	14,78 b	16,61 b
	DMS	0,07	0,17	0,38	0,53	0,65	0,87

¹ DMS = diferença mínima significativa (Tukey, $P=0,05$). Valores dos níveis dos fatores seguidos da mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si.

Tabela 11 – Valores médios de volume ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) para os fatores clone, espaçamento e arranjo nas idades de 1 a 6 anos

Volume ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)		Idade (anos)					
Fator	Nível	1,0	1,5	3,0	4,0	5,0	6,0
Clone	C041	2,41 b	20,45 b	83,57 a	130,85 a	174,54 a	202,98 a
	C219	4,29 a	25,86 a	77,29 b	120,06 b	155,10 b	183,04 b
	¹ DMS	0,19	0,77	2,31	3,66	5,39	6,96
Espaçamento ($\text{m}^2 \text{planta}^{-1}$)	6,0	4,34 a	28,86 a	90,78 a	137,75 a	177,52 a	211,86 a
	10,5	3,26 b	22,85 b	80,14 b	125,58 b	163,98 b	192,42 b
	15,0	2,44 c	17,77 c	70,35 c	113,05 c	152,97 c	174,75 c
	DMS	0,28	1,14	3,40	5,39	7,94	10,25
Arranjo (m)	3	2,90 c	22,25 b	82,82 a	131,91 a	173,84 a	204,08 a
	6	3,36 b	23,27 ab	81,59 a	127,98 a	169,99 a	198,60 a
	9	3,78 a	23,96 a	76,87 b	116,49 b	150,63 b	176,35 b
	DMS	0,27	1,14	3,40	5,39	7,94	10,25

¹DMS = diferença mínima significativa (Tukey, $P=0,05$). Valores dos níveis dos fatores seguidos da mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si.

Para o fator clone, tanto área basal quanto o volume, confirmam o maior crescimento inicial do C219 em relação ao C041. Porém, a partir do 3º ano, o clone C041 passa a apresentar sempre os maiores valores de área basal e volume por hectare. Aos 6 anos, o clone C041 é 11% mais produtivo em volume do que o clone C219, com incrementos médios anuais (IMA) de 33,8 e 30,5 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$, respectivamente. Porém esta menor produtividade do C219 deveu-se, em parte, a sua alta susceptibilidade à quebra pelo vento, apresentada na Tabela 6.

Com relação ao fator espaçamento, apesar das variáveis associadas ao indivíduo árvore (DAP, altura e volume individual) apresentarem respostas positivas ao aumento do espaçamento de plantio, para a área basal e volume observa-se comportamento oposto, com redução de seus valores nos maiores espaçamentos em todas as avaliações realizadas. Resultados semelhantes foram verificados por Stape et al. (1988) e Berger et al. (2002). Isto mostra que, até a idade de 6 anos, ainda não houve completa ocupação da capacidade do sítio pelos espaçamentos maiores, quando tomam-se os dois clones conjuntamente. A Figura 4 mostra, para os dois clones, os volumes nas idades de 1 a 6 anos em função do espaçamento.

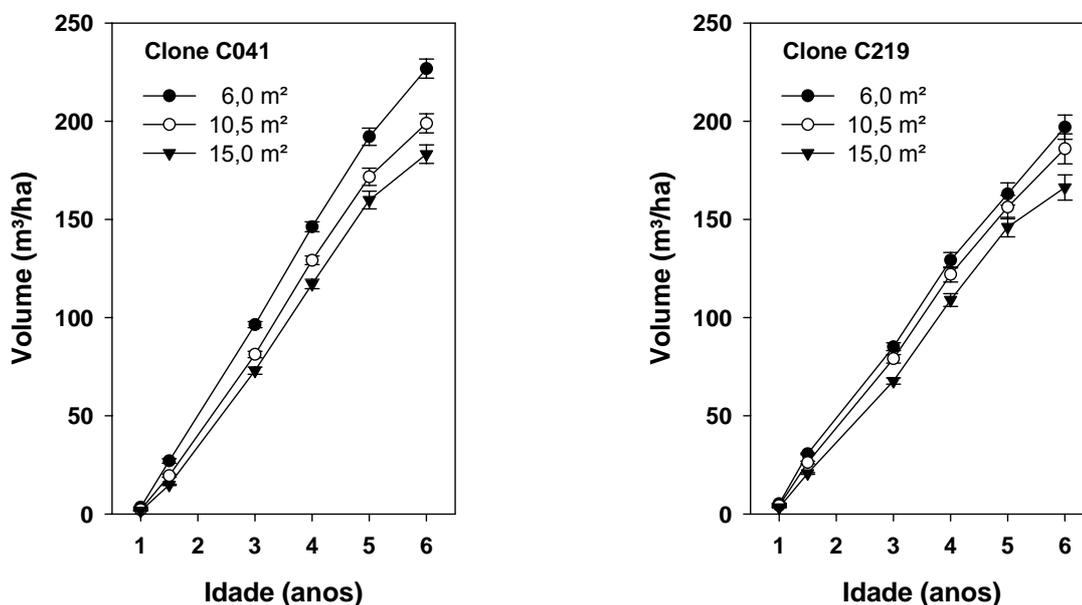


Figura 4 – Volume ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) em função do espaçamento nas idades de 1 a 6 anos para os clones C041 e C219. As barras representam o desvio padrão da média ($n = 12$)

Aos 6 anos de idade, observa-se, para o clone C041, uma superioridade em relação ao clone C219 e com uma produção nitidamente mais elevada no espaçamento de $6,0 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$, atingindo IMA de $37,0 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$. Para o clone C219 as produções entre os espaçamentos $6,0$ e $10,5 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$ são muito próximas, indicando a possibilidade de utilização de espaçamentos maiores que $6,0 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$ operacionalmente, uma vez que os custos de produção serão certamente menores.

Para o fator arranjo de plantio, os maiores valores de volume na fase inicial de crescimento são encontrados nos arranjos de 9 e 6 metros. Aos 6 anos, ocorre redução da produtividade com o aumento das distâncias entrelinhas e o arranjo de 3 metros, com $34,0 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$, é 16% superior ao arranjo de 9 metros. Esta redução de crescimento no arranjo de 9 metros pode ser atribuída a uma competição estabelecida precocemente entre as plantas na linha (provavelmente iniciando entre o 2º e 3º ano), aumentando a quantidade de árvores dominadas, as quais possuem menor eficiência de utilização dos recursos do meio comparadas às árvores dominantes (BINKLEY et al., 2002). A Figura 5 mostra, para os dois clones, os volumes nas idades de 1 a 6 anos em função do arranjo de plantio.

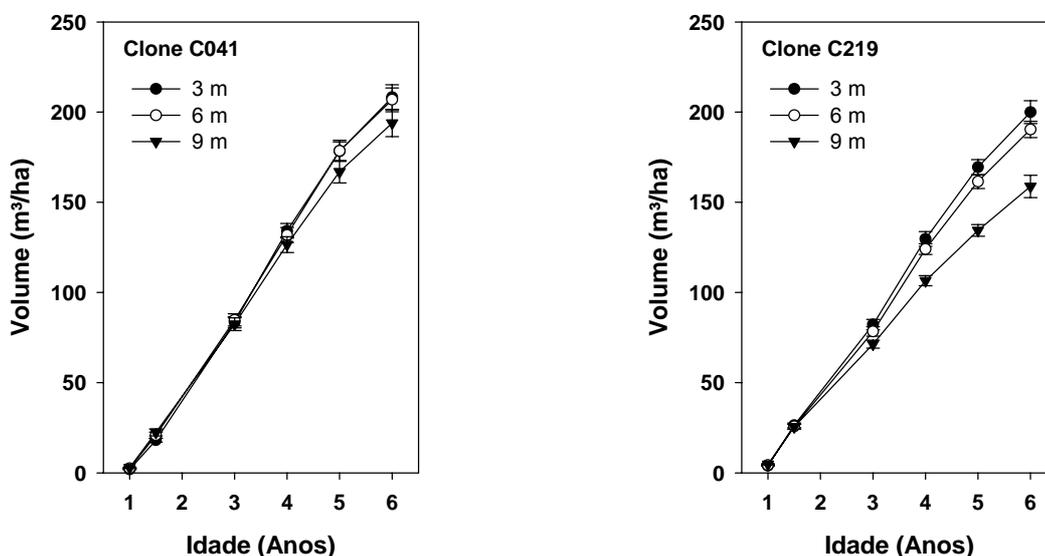


Figura 5 – Volume ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) em função do arranjo nas idades de 1 a 6 anos para os clones C041 e C219. As barras representam o desvio padrão da média ($n = 12$)

Aos 6 anos de idade, verifica-se uma sensibilidade muito maior do clone C219 à variação do arranjo de plantio, especialmente no arranjo de 9 metros, onde a produtividade foi 18% inferior às obtidas nos arranjos de 3 e 6 metros. Esta interação clone x arranjo, é explicada, provavelmente, pela maior porcentagem de árvores quebradas pelo vento neste arranjo.

Estes resultados indicam que o plantio do clone C219 em retangularidades maiores, como em sistemas agro-florestais (SAF), por exemplo, deve ser evitado ao máximo, sendo preferível a utilização do clone C041, que mostra-se menos sensível à variação do arranjo de plantio e com produções muito parecidas nos arranjos de 3 e 6 metros.

Na Tabela 12 encontram-se os valores taper (cm m^{-1}), para cada fator avaliado, nas idades de 1 a 6 anos.

Tabela 12 – Valores médios taper (cm m^{-1}) para os fatores clone, espaçamento e arranjo nas idades de 1 a 6 anos

Taper (cm m^{-1})		Idade (anos)					
Fator	Nível	1,0	1,5	3,0	4,0	5,0	6,0
Clone	C041	0,81 a	0,82 a	0,71 a	0,67 a	0,64 b	0,67 a
	C219	0,78 b	0,80 b	0,71 a	0,67 a	0,66 a	0,65 b
	¹ DMS	0,02	0,01	0,008	0,006	0,008	0,008
Espaçamento ($\text{m}^2 \text{ planta}^{-1}$)	6,0	0,71 c	0,71 c	0,63 c	0,60 c	0,58 c	0,59 c
	10,5	0,80 b	0,83 b	0,72 b	0,67 b	0,66 b	0,67 b
	15,0	0,86 a	0,91 a	0,78 a	0,74 a	0,72 a	0,73 a
	DMS	0,02	0,02	0,012	0,010	0,011	0,011
Arranjo (m)	3	0,79 a	0,85 a	0,72 a	0,68 a	0,66 a	0,67 a
	6	0,80 a	0,83 b	0,71 a	0,68 a	0,65 a	0,67 a
	9	0,77 b	0,77 c	0,69 b	0,66 b	0,63 b	0,65 b
	DMS	0,02	0,02	0,011	0,010	0,011	0,011

¹ DMS = diferença mínima significativa (Tukey, $P=0,05$). Valores dos níveis dos fatores seguidos da mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si.

Para o fator clone, verifica-se, aos 6 anos, menor valor taper para o clone C219, indicando a produção de árvores mais delgadas. Esta mesma tendência é notada no arranjo de 9 metros, indicando que à medida que a retangularidade afasta-se da unidade, há redução do taper. Estes dados permitem especular que uma das causas da maior porcentagem de árvores quebradas do clone C219 no arranjo de 9 metros possa estar associada à produção de árvores mais delgadas e com menor resistência à ação dos ventos.

Com relação ao espaçamento, os maiores valores taper, em todas as idades, são encontrados no maior espaçamento ($15 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$), confirmando a produção de árvores de maior DAP proporcionalmente à altura, em virtude de maior disponibilidade de recursos do meio, como a luz, principalmente.

2.3.2 Biomassa da parte aérea da árvore média

A Tabela 13 fornece os valores médios de matéria seca aos 6 anos para cada compartimento da árvore (Kg árvore^{-1}) em função dos fatores avaliados.

Tabela 13 – Produção de matéria seca por árvore (Kg árvore⁻¹) para os fatores clone, espaçamento e arranjo nas idades de 1 a 6 anos

Biomassa (Kg árvore ⁻¹)		Compartimento				
Fator	Nível	Lenho	Casca	Galho	Folha	Total
Clone	C041	105,78 a	9,53 a	3,57 b	3,03 a	121,91 a
	C219	108,60 a	9,08 a	5,05 a	3,08 a	125,81 a
	¹ DMS	5,65	0,54	0,57	0,32	7,12
Espaçamento (m ² planta ⁻¹)	6,0	68,84 c	6,21 c	2,80 c	1,91 c	79,76 c
	10,5	109,54 b	9,60 b	4,42 b	3,27 b	126,83 b
	15,0	143,19 a	12,10 a	5,72 a	3,99 a	165,0 a
	DMS	8,32	0,79	0,84	0,47	10,51
Arranjo (m)	3	111,21 a	9,89 a	5,07 a	3,45 a	129,62 a
	6	107,84 ab	9,36 ab	4,22 b	3,10 a	124,51 ab
	9	102,53 b	8,66 b	3,65 b	2,60 b	117,44 b
	DMS	8,32	0,79	0,84	0,47	10,51

¹ DMS = diferença mínima significativa (Tukey, $P=0,05$). Valores dos níveis dos fatores seguidos da mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si.

A produção de matéria seca da parte aérea dos clones avaliados, para praticamente todos os compartimentos da árvore, foi muito semelhante, havendo diferença estatística significativa apenas para a produção de galhos. O clone C219 produziu 41% mais galhos que o C041. Esta maior produção de galhos também pode estar relacionada à maior quebra de árvores do C219 pela ação dos ventos.

Para o fator espaçamento, como verificado para o volume individual, ocorre uma expressiva redução da produção de matéria seca para todos os compartimentos da árvore (Kg árvore⁻¹) nos menores espaçamentos. Aos 6 anos, a produção de matéria seca de lenho no espaçamento de 15,0 m² planta⁻¹ foi 31% e 108% superior às obtidas nos espaçamentos de 10,5 e 6,0 m² planta⁻¹, respectivamente. As mesmas tendências foram encontradas por Ladeira et al. (2001), Leles et al. (2001) e Oliveira Neto et al (2003).

Quanto ao arranjo de plantio, as maiores produções de matéria seca para todos os componentes da árvore foram obtidas no arranjo de 3 metros. Aos 6 anos a produção de matéria seca de lenho no arranjo de 3 metros foi 3,0% e 8,5% superior à produzida nos arranjos de 6 e 9 metros, respectivamente, indicando maior competição entre plantas quando a retangularidade afasta-se da unidade.

As alocações percentuais entre os componentes da parte aérea aos 6 anos em função dos fatores avaliados encontram-se na Tabela 14.

Tabela 14 – Alocação percentual da matéria seca entre os compartimentos das árvores para os fatores clone, espaçamento e arranjo nas idades de 1 a 6 anos

Alocação Parte Aérea (%)		Compartimento			
Fator	Nível	Lenho	Casca	Galho	Folha
Clone	C041	86,70 a	7,92 a	2,93 b	2,45 a
	C219	86,34 a	7,26 b	3,96 a	2,43 a
	¹ DMS	0,49	0,33	0,30	0,21
Espaçamento (m² planta⁻¹)	6,0	86,30 a	7,84 a	3,49 a	2,36 a
	10,5	86,39 a	7,59 ab	3,45 a	2,56 a
	15,0	86,87 a	7,33 b	3,40 a	2,39 a
	DMS	0,72	0,49	0,45	0,31
Arranjo (m)	3 m	85,88 b	7,71 a	3,79 a	2,62 a
	6 m	86,59 ab	7,54 a	3,39 ab	2,47 ab
	9 m	87,10 a	7,51 a	3,16 b	2,23 b
	DMS	0,72	0,49	0,45	0,31

¹ DMS = diferença mínima significativa (Tukey, $P=0,05$). Valores dos níveis dos fatores seguidos da mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si.

Observa-se que o clone C041 aloca maior quantidade de matéria seca para a produção de casca enquanto o clone C219 para a produção de galhos.

Com relação aos espaçamentos, notam-se extremas constâncias nas alocações percentuais de cada compartimento para estes clones. Esses resultados divergem daqueles encontrados por Assis et al. (1999) e Leles et al. (2001), que verificaram maior alocação relativa para o lenho nos menores espaçamentos e menor alocação para galho, quando com espécies oriundas de sementes.

No arranjo de 9 metros verifica-se uma maior alocação de matéria seca para o compartimento lenho em detrimento de uma menor alocação para galhos e folhas, comparativamente ao arranjo de 3 metros. A mesma tendência foi observada por Assis et al. (1999). Esta menor alocação de matéria seca para as folhas nos maiores arranjos, aliada à própria distribuição espacial das plantas, reduz de forma significativa a quantidade de luz interceptada pela copa, o que deve afetar a produtividade final da floresta.

2.3.3 Biomassa por hectare

Na Tabela 15 são apresentadas as produções de matéria seca por hectare (Mg ha⁻¹) para cada compartimento da parte aérea aos 6 anos em função dos fatores avaliados.

Tabela 15 – Produção de matéria seca (Mg ha⁻¹) dos compartimentos das árvores para os fatores clone, espaçamento e arranjo nas idades de 1 a 6 anos

Biomassa (Mg ha ⁻¹)		Compartimento				
Fator	Nível	Lenho	Casca	Galho	Folha	Total
Clone	C041	84,77 a	8,04 a	2,93 a	2,25 a	98,00 a
	C219	80,88 b	6,71 b	3,02 a	2,07 b	92,68 b
	¹ DMS	3,40	0,28	0,15	0,10	3,89
Espaçamento (m ² planta ⁻¹)	6,0	92,35 a	8,43 a	3,35 a	2,37 a	106,49 a
	10,5	82,71 b	7,31 b	2,99 b	2,18 b	95,19 b
	15,0	73,42 c	6,39 c	2,58 c	1,93 c	84,33 c
	DMS	5,00	0,40	0,22	0,15	5,73
Arranjo (m)	3	87,68 a	7,79 a	3,17 a	2,29 a	100,93 a
	6	85,37 a	7,58 a	3,07 a	2,23 a	98,26 a
	9	75,42 b	6,75 b	2,69 b	1,96 b	86,84 b
	DMS	5,00	0,40	0,22	0,15	5,73

¹ DMS = diferença mínima significativa (Tukey, $P=0,05$). Valores dos níveis dos fatores seguidos da mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si.

Os dados relativos à biomassa da parte aérea revelam comportamento semelhante ao verificado para área basal e volume, com maior produção de matéria seca por unidade de área para o clone C041. No entanto, aos 6 anos, o clone C041 foi apenas 5% mais produtivo em biomassa de lenho que o clone C219, enquanto era 11% mais produtivo em volume, face a sua menor densidade básica.

Nota-se significativa redução dos valores de todos os compartimentos da planta com o aumento do espaçamento. As maiores produções de biomassa da parte aérea total por hectare estão associadas ao espaçamento de 6,0 m² planta⁻¹ (106,5 Mg ha⁻¹) e as menores ao espaçamento de 15,0 m² planta⁻¹ (84,3 Mg ha⁻¹), representando uma redução de 20,8%. Nos menores espaçamentos há aumento significativo da matéria seca de lenho por unidade de área, com produção máxima de 92,3 Mg ha⁻¹ no espaçamento de 6,0 m²

planta⁻¹, 11,6 e 25,8% superior à produzida nos espaçamentos de 10,5 m² planta⁻¹ e de 15,0 m² planta⁻¹, respectivamente. Estes resultados corroboram os obtidos por Ladeira et al. (2001), Leles et al. (2001) e Berger et al. (2002), indicando que para os ciclos curtos de corte de eucalipto, entre 5 e 7 anos, os espaçamentos com menos de 6 m² planta⁻¹ tendem a ser os mais produtivos.

Quanto ao arranjo de plantio, redução significativa da biomassa da parte aérea ocorre no arranjo de 9 metros. Aos 6 anos, o arranjo de 3 metros é 16,3% mais produtivo que o arranjo de 9 metros. Assis et al. (1999) também verificaram que, aos 4 anos, a biomassa do tronco produzida no arranjo de 3 metros foi 33,0% superior à produzida no arranjo de 9 metros. Esta menor produção nos maiores arranjos pode ser atribuída, além da competição já comentada por espaço, água e nutrientes, a uma menor quantidade de luz interceptada pelas copas.

A Figura 6 ilustra os valores de biomassa de cada compartimento da árvore (Mg ha⁻¹) para o clone C041 aos 6 anos de idade. O clone C219 não foi considerado neste gráfico em virtude de sua maior porcentagem de árvores quebradas.

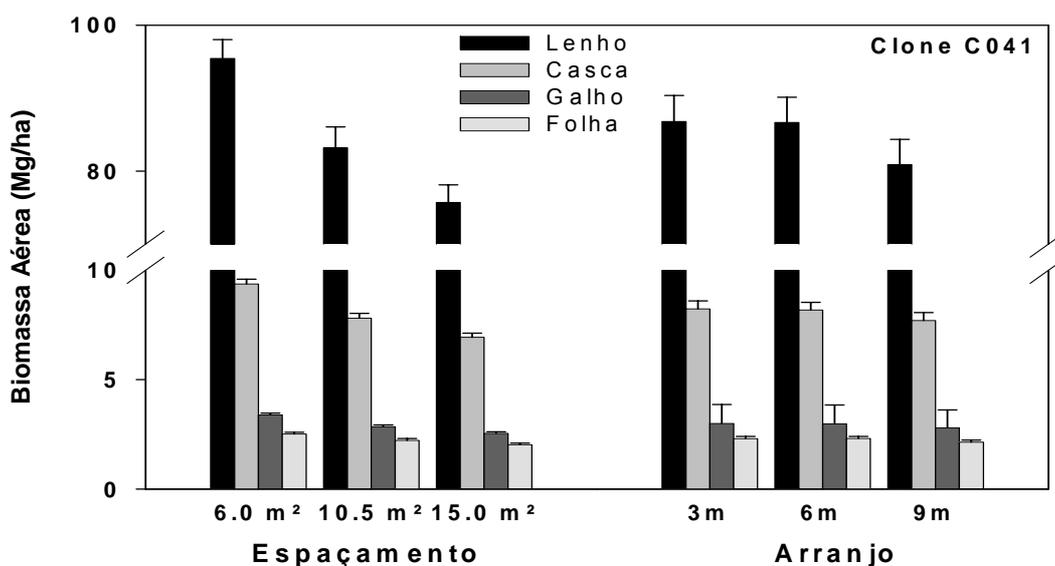


Figura 6 – Biomassa dos compartimentos da parte aérea do clone C041 (Mg ha⁻¹) em função do espaçamento e arranjo. Barras representam o desvio padrão da média (n = 4)

Verifica-se, nos maiores espaçamentos, uma nítida tendência de redução da biomassa em todos os compartimentos da parte aérea, especialmente a biomassa do lenho. Para o arranjo, não se observam diferenças expressivas entre os de 3 e 6 metros, havendo redução mais acentuada apenas no arranjo de 9 metros. Estes dados indicam que o clone C041 pode ser utilizado em programas que possam requerer maiores entrelinhas, como SAF e fomento florestal, por exemplo. As Figuras 7 e 8 mostram os valores de biomassa do lenho (Mg ha^{-1}) em função do espaçamento, aos 6 anos de idade, para os clones C041 e C219, respectivamente.

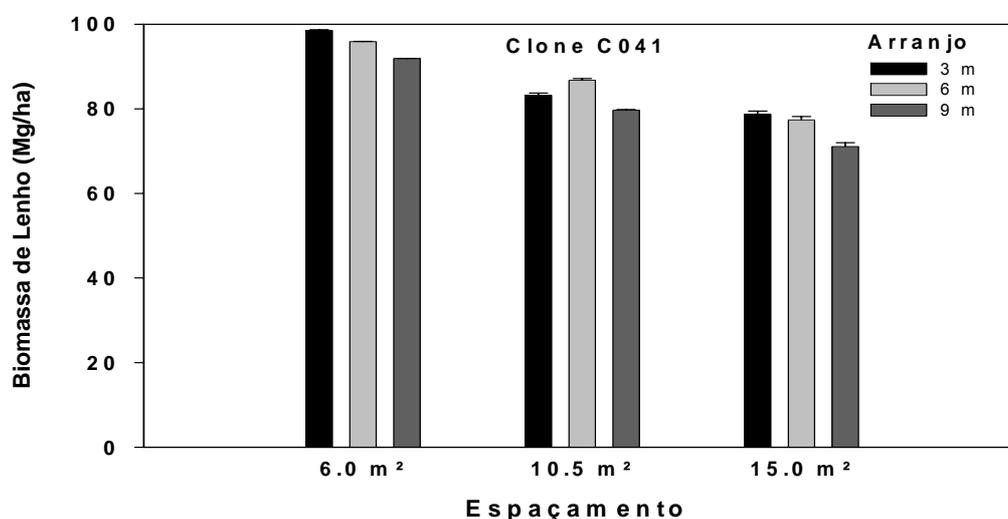


Figura 7 – Biomassa do lenho (Mg ha^{-1}) do clone C041 aos 6 anos em função do espaçamento e arranjo. Barras representam o desvio padrão da média ($n = 4$)

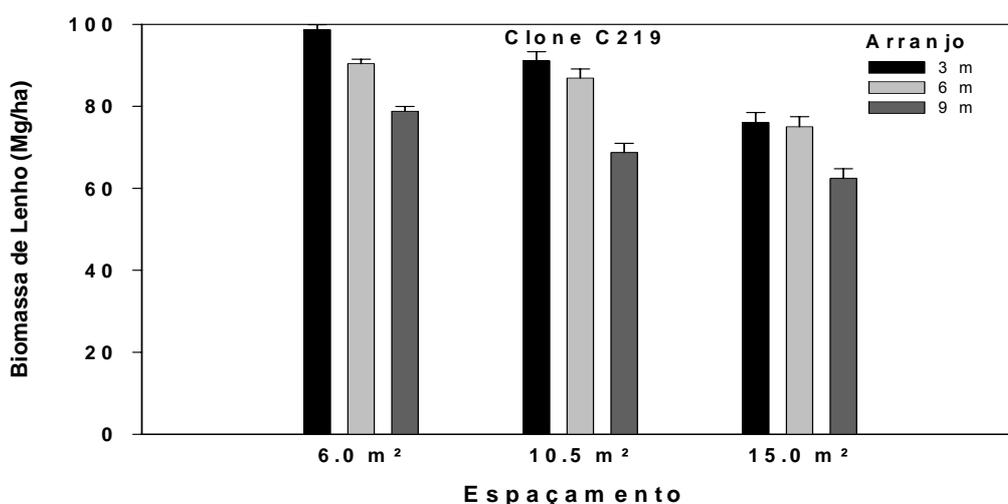


Figura 8 – Biomassa do lenho (Mg ha^{-1}) do clone C219 aos 6 anos em função do espaçamento e arranjo. Barras representam o desvio padrão da média ($n = 4$)

As maiores produções de biomassa de lenho aos 6 anos de idade, para ambos os clones, são encontradas no espaçamento de 6,0 m² planta⁻¹, basicamente em virtude do maior número de árvores por hectare. Para todos os espaçamentos, existe uma tendência de redução da produção nos maiores arranjos. O clone C219 apresenta maior sensibilidade à variação do arranjo, principalmente no espaçamento de 6,0 m² planta⁻¹. No espaçamento de 15,0 m² planta⁻¹ as produções de biomassa do lenho nos arranjos de 3 e 6 metros são muito parecidas, provavelmente em virtude de valores de retangularidade mais próximos neste espaçamento.

2.3.4 Uniformidade

Os valores de volume acumulado (%) do clone C041 para 50% das árvores mais finas em função do espaçamento e arranjo de plantio nas idades de 1 a 6 anos são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 – Valores de volume acumulado (%) do clone C041 referentes a 50% das árvores mais finas

Volume Acumulado (%)		Idade (anos)					
Fator	Nível	1,0	1,5	3,0	4,0	5,0	6,0
Espaçamento (m ² planta ⁻¹)	6,0	30,57 a	36,40 a	35,64 b	34,03 b	31,81 b	28,94 b
	10,5	32,99 a	38,57 a	38,72 ab	37,93 a	37,04 a	34,24 a
	15,0	33,28 a	39,32 a	40,80 a	40,73 a	40,24 a	37,54 a
	DMS	4,31	3,47	3,28	3,30	3,38	3,82
Arranjo (m)	3	31,52 a	38,78 a	39,45 a	38,95 a	37,98 a	35,25 a
	6	33,07 a	38,21 a	38,75 a	37,82 a	36,69 ab	33,88 a
	9	32,26 a	37,31 a	36,95 a	35,92 a	34,43 b	31,60 a
	DMS	4,31	3,47	3,28	3,30	3,38	3,82

¹ DMS = diferença mínima significativa (Tukey, $P=0,05$). Valores dos níveis dos fatores seguidos da mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si.

Para o fator espaçamento, diferenças significativas entre os níveis avaliados são observadas a partir do 3º ano, indicando que nesta fase já se inicia forte competição entre as plantas no espaçamento de 6,0 m² planta⁻¹, aumentando a quantidade de árvores dominadas.

Quanto ao fator arranjo, apesar de não existirem diferenças significativas aos 6 anos, há uma tendência de redução da uniformidade nos arranjos de 6 e 9 metros a partir de 1,5 anos. As Figuras 9 e 10 mostram a relação entre árvores acumuladas em ordem crescente de tamanho (%) e o volume acumulado (%) em função de diferentes idades e do arranjo de plantio, respectivamente.

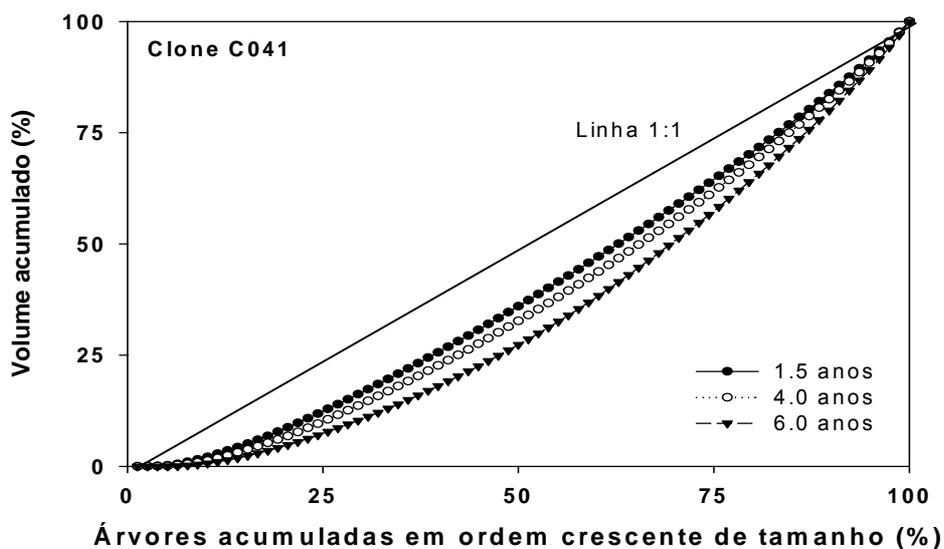


Figura 9 – Volume acumulado (%) do clone C041 nas idades de 1,5, 4,0 e 6,0 anos. A linha 1:1 representa a planta com todas as árvores iguais

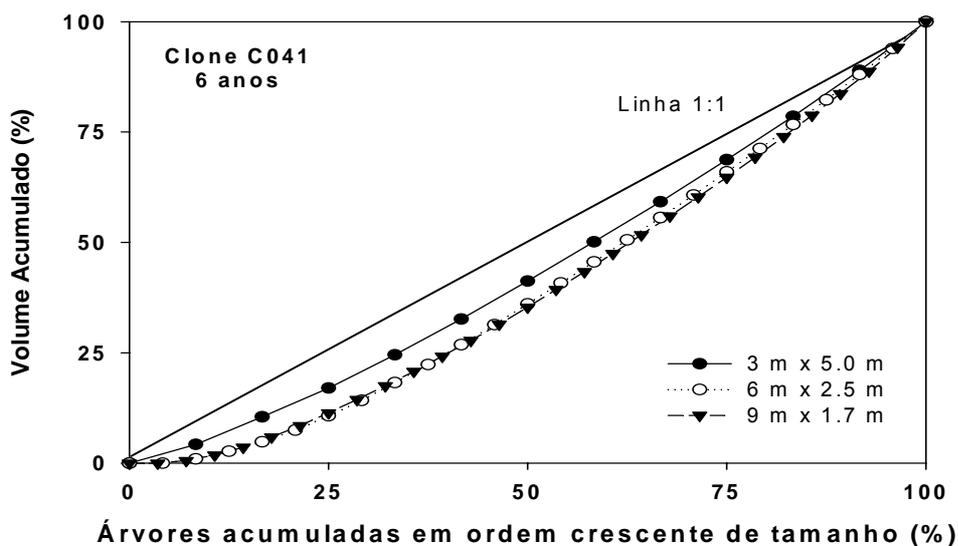


Figura 10 – Volume acumulado (%) do clone C041 aos 6 anos no espaçamento de $15,0 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$ em função do arranjo de plantio. A linha 1:1 representa a planta com todas as árvores iguais

Na Figura 9 fica muito evidente o estabelecimento da dominância entre árvores, com o aumento da idade. Aos 1,5 anos, 50% das árvores mais finas possuem um volume acumulado de 37%, enquanto que aos 6 anos o volume acumulado é de 25%. Este comportamento é notado pelo maior abaulamento da curva.

Na Figura 10 verifica-se, no espaçamento de 15,0 m² planta⁻¹, maior uniformidade das árvores no arranjo de 3 metros, não sendo observadas diferenças expressivas nos arranjos de 6 e 9 metros. Esta menor uniformidade nos arranjos de 6 e 9 metros, conferem ao povoamento maior quantidade de árvores dominadas que utilizam os recursos do meio de forma menos eficiente, reduzindo a produtividade florestal.

Novamente deve-se ressaltar que estes dados foram obtidos para um experimento mantido livre de qualquer outra interferência. Portanto, em condições operacionais, manejos de baixa qualidade tenderão a uma redução de uniformidade entre plantas muito mais expressiva.

2.3.5 Modelos de inferência em função do espaçamento e arranjo

Os modelos de inferência da produtividade para cada clone, aos 6 anos, em função do espaçamento, do arranjo e da retangularidade, selecionados foram:

$$\text{IMA}_{C041} = 43,748 - 0,8062E - 0,0346A^2 \quad r^2 = 0,61 \quad (P < 0,001) \quad (3)$$

$$\text{IMA}_{C219} = 40,570 - 0,5684E - 0,0975A^2 \quad r^2 = 0,69 \quad (P < 0,001) \quad (4)$$

$$\text{IMA}_{C041} = \frac{63,14}{E^{0,2568} R^{0,0356}} \quad r^2 = 0,59 \quad (P < 0,001) \quad (5)$$

$$\text{IMA}_{C219} = \frac{64,59}{E^{0,2638} R^{0,1264}} \quad r^2 = 0,59 \quad (P < 0,001) \quad (6)$$

Onde: IMA = Incremento Médio Anual aos 6 anos ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$); E = espaçamento (6,0 a $15,0 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$); A = distância entre linhas (3 a 9 metros); R = retangularidade (razão da distância entrelinha pela entreplanta de 1,17 a 13,4).

A Figura 11 mostra a produtividade dos clones C041 e C219 em função do espaçamento e do arranjo de plantio utilizando os modelos (3) e (4), respectivamente.

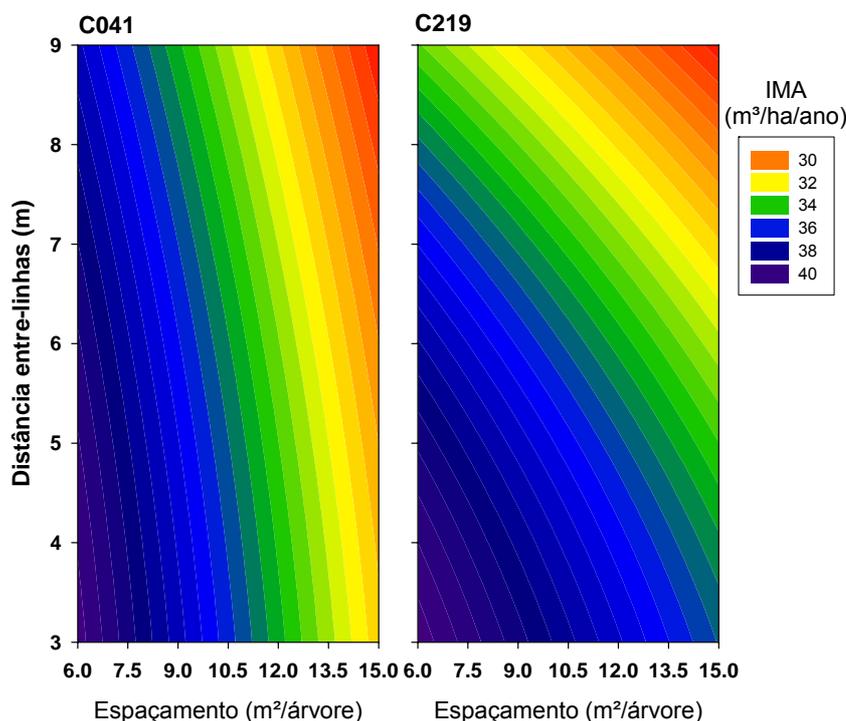


Figura 11 – Produtividade dos clones C041 e C219 em função do espaçamento e arranjo de plantio aos 6 anos utilizando os modelos (3) e (4)

Na Figura 11 fica muito clara a variação da produtividade nas faixas de espaçamento e arranjo avaliadas, com as maiores produtividades sendo encontradas nos menores espaçamento e arranjo (canto inferior esquerdo das figuras) e as menores produtividades nos maiores espaçamento e arranjo de plantio (canto superior direito). Fica bastante evidente também a maior sensibilidade do clone C219 à variação do arranjo de plantio. A produtividade aos 6 anos em função do espaçamento e da retangularidade para os dois clones avaliados é apresentada na Figura 12, utilizando os modelos (5) e (6).

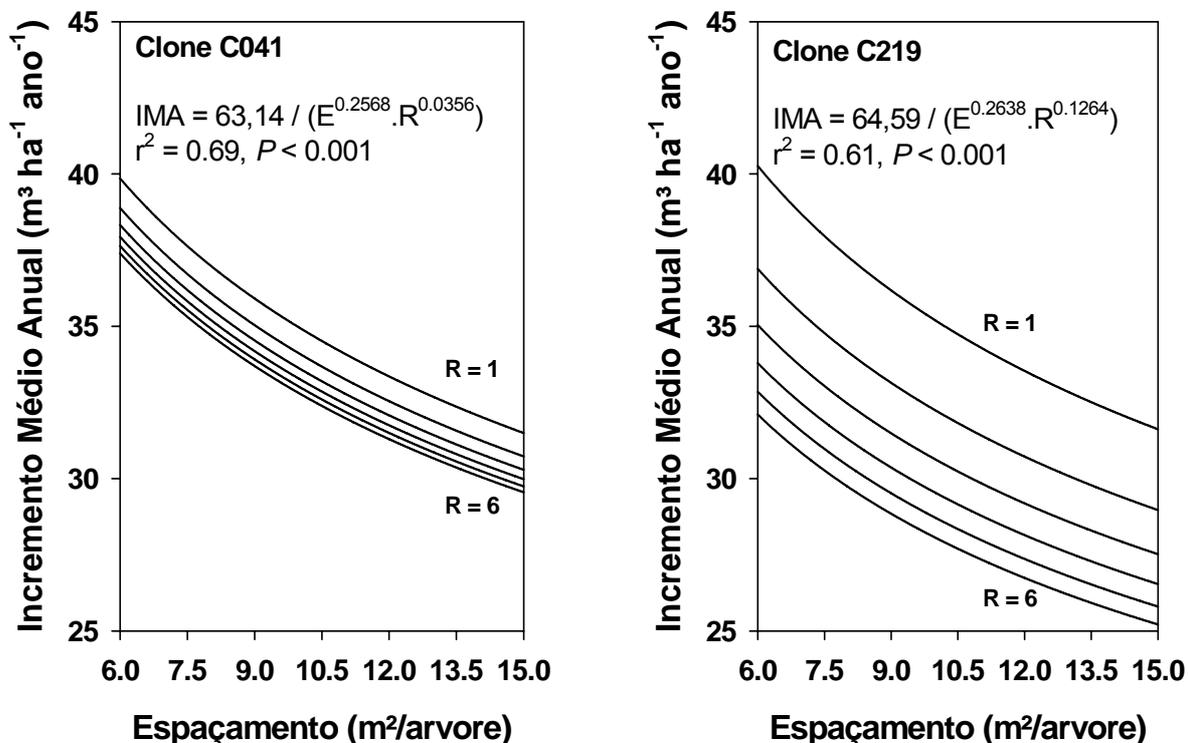


Figura 12 – Produtividade dos clones C041 e C219 em função do espaçamento e da retangularidade aos 6 anos utilizando-se os modelos (5) e (6)

Verifica-se, para os dois clones avaliados, redução da produtividade nos maiores espaçamentos e nas maiores retangularidades, com o clone C219 apresentando maior sensibilidade à variação da retangularidade, basicamente em virtude da sua maior susceptibilidade à quebra pelo vento, notadamente no arranjo de 9 metros ($R > 5$).

Estes modelos são de grande valia para o setor operacional, pois possibilitam, para a região do estudo e para a idade de 6 anos, interpolar a produtividade florestal para outros espaçamentos, arranjos e retangularidades (todos dentro das faixas avaliadas), que não foram testados neste estudo, sem a necessidade de uma nova experimentação.

3 CONCLUSÕES

O estudo até o 6º ano do efeito do espaçamento e do arranjo de plantio no crescimento e uniformidade do *Eucalyptus*, utilizando três diferentes espaçamentos, três diferentes arranjos de plantio e dois materiais genéticos, permitiu concluir que:

O clone C041 foi mais produtivo que o clone C219 a partir do terceiro ano, atingindo produtividades finais de 33,8 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ (11% superior) e 16,3 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de lenho (5% superior);

As maiores produções, em volume e biomassa de lenho, foram atingidas no espaçamento de 6 m² planta⁻¹, com valores médios de 212 m³ ha⁻¹ e 92 Mg ha⁻¹ (35,3 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ e 15,4 Mg ha⁻¹ ano⁻¹), com reduções médias de 10% e 18% na produção em relação aos espaçamentos de 10,5 e 15,0 m² planta⁻¹, respectivamente;

Para um mesmo espaçamento de plantio, as produções diminuíram à medida que a retangularidade afastou-se da unidade. As produções máximas foram verificadas para o arranjo de 3 metros (R médio de 1,45), com 34,0 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ e 14,6 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, 16% superior às produções obtidas no arranjo de 9 metros, indicando que as decisões operacionais de preparo devem levar em conta os impactos na produtividade;

O clone C219 foi mais severamente danificado pelo vento do que o clone C041, e este dano aumentou com a maior distância entrelinhas ou retangularidade. Evidencia-se assim, que a indicação de arranjos de plantio não pode ser generalizada para todos os materiais genéticos;

Houve redução da uniformidade entre árvores com a idade, com a redução do espaçamento e com o aumento da retangularidade, atestando o relevante papel da escolha do espaçamento e arranjo de plantio na garantia da uniformidade e produtividade das florestas clonais;

Os espaçamentos e os arranjos avaliados não afetaram de forma significativa a alocação da matéria seca entre os diferentes compartimentos da parte aérea, indicando,

talvez, maior estabilidade dos clones nesta alocação, comparativamente a materiais originados de sementes;

Decisões quanto à escolha do melhor arranjo de plantio não podem ser tomadas com base nas avaliações iniciais, antes dos 3 anos, podendo levar à adoção de arranjos inadequados, que resultarão em menor produtividade ao final da rotação;

Houve grande redução do volume médio das árvores com a redução do espaçamento (0,29 m³ para 0,14 m³ para os espaçamentos de 15 e 6 m² árvore⁻¹, respectivamente) e com pequena influência do arranjo. Assim, os efeitos da escolha do espaçamento e arranjo nos rendimentos e custos da colheita podem ser simulados;

Foi possível desenvolver modelos de predição do incremento médio anual em função do espaçamento, distância entrelinhas ou retangularidade, de forma a estimar a produtividade florestal, sem a necessidade de instalação de novos ensaios de espaçamento e arranjo, na região.

Finalmente, retomando as hipóteses iniciais do estudo, verifica-se que:

A Hipótese i (a maximização da produtividade florestal será maior no menor espaçamento) foi corroborada;

A Hipótese ii (a produtividade florestal será maior nos arranjos com retangularidade próxima à unidade) foi corroborada;

A Hipótese iii (a uniformidade florestal será maior nos arranjos com retangularidade próxima à unidade) também foi corroborada; e

A Hipótese iv (a maior alocação de biomassa para o lenho irá ocorrer nos menores espaçamentos) foi rejeitada para as condições do estudo.

REFERÊNCIAS

- ASSIS, R.L.; FERREIRA, M.M.; MORAIS, E.J.; FERNANDES, L.A. Produção de biomassa de *E. urophylla* S. T. Blake sob diferentes espaçamentos na região do cerrado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v.23, n.2, p.151-156, 1999.
- ASSMANN, E. **The principles of forest yield study**. Oxford: Pergamon Press, 1970. 506p.
- BALLONI, E.A.; SIMÕES, J.W. O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v.1, n.3, p.1-16, 1980.
- BALLONI, E.A. Influência do espaçamento de plantio na produtividade florestal. **Silvicultura**, São Paulo, v.8, n.31, p.558-592, 1983.
- BERGER, R., SCHNEIDER, P.R., FINGER, C.A.G., HASELEIN, C.R. Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.12, n.2, p.75-87, 2002.
- BINKLEY, D.; STAPE, J.L.; RYAN, M.G.; BARNARD, H. Age-related decline in forest ecosystem growth: an individual-tree, stand-structure hypothesis. **Ecosystems**, New York, v.5, p.58-67, 2002.
- BINKLEY, D.; SENOCK, R.; BIRD, S.; COLE, T.G. Twenty years of stand development in pure and mixed stands of *Eucalyptus saligna* and nitrogen-fixing *Acacia mouluccana*. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.182, p.93-102, 2003.
- CHAPMAN, G.W.; ALLAN, T.G. **Técnicas de establecimiento de plantaciones forestales**. Roma: FAO, 1978. 213p.
- COELHO, A.S.R., MELLO, H.A., SIMÕES, J.W. Comportamento de espécies de eucalipto face ao espaçamento. **IPEF**, Piracicaba, n.1, p.29-55, 1970.
- COUTO, L.; BRANDI, R.M.; CONDÉ, A.R., PAULA NETO, F. Influência do espaçamento de *E. urophylla* de origem híbrida, cultivado na região de Coronel Fabriciano, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v.1, n.2, p.57-71, 1977.
- EVANS, J. **Plantation forestry in the tropics**. Oxford: Clarendon Press, 1992. 419p.
- FISHER, R.F.; BINKLEY, D. **Ecology and management of forest soils**. New York: Wiley, 2001. 489p.
- FISHWICK, R.W. Estudos de espaçamentos e desbastes em plantações brasileiras. **Brasil Florestal**, Rio de Janeiro, v.7, n.27, p.13-23, 1976.
- FONSECA, S.M. et al. Efeitos do espaçamento e da idade de corte sobre a produtividade e qualidade da madeira e o custo da celulose kraft de eucalipto. **O Papel**, São Paulo, v.58, n.9, p.61-70, 1997.

GOMES, R.J. **Efeito do espaçamento no crescimento e nas relações hídricas de *Eucalyptus spp.* na região de cerrado de Minas Gerais.** 1994. 85p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1994.

GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L.; LACLAU, J.P.; SMETHURST, P.; GAVA, J.L. Silvicultural effects on the productivity and wood quality of eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.193, p.45-61, 2004.

GONÇALVES, J.L.M.; RAIJ, B.; GONÇALVES, J.C. Florestais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** Campinas: IAC e Fundação IAC, 1996. p.245-259.

GORGULHO, E.P. **Avaliação de progênies de *Eucalyptus pyrocarpa* em diferentes espaçamentos de plantio.** Lavras, 1990. 81p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Escola Superior de Agricultura de Lavras. Lavras, 1990.

HILLIS, W.E.; BROWN, A.G. *Eucalyptus* for wood production. Melbourne: CSIRO, 1978. 433p.

LADEIRA, B.C.; REIS, G.G.; REIS, M.G.F.; BARROS, N.F. Produção de biomassa de eucalipto sob três espaçamentos, em uma seqüência de idade. **Revista Árvore**, Viçosa, v.25, n.1, p.69-78, 2001.

LEITE, F.P.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; SANS, L.M.A.; FABRES, A.S. Crescimento de *E. grandis* em diferentes densidades populacionais. **Revista Árvore**, Viçosa, v.2, n.3, p.313-321, 1997.

LELES, P.S.S.; REIS, G.G.; REIS, M.G.F.; MORAIS, E.J. Relações hídricas e crescimento de árvores de *E. camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado. **Revista Árvore**, Viçosa, v.22, n.1, p.41-50, 1998.

LELES, P.S.S.; REIS, G.G.; REIS, M.G.F.; MORAIS, E.J. Crescimento, produção e alocação de matéria seca de *Eucalyptus camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado, MG. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.59, p.77-87, 2001.

MARQUEZ, C.E.C. **Estudo silvicultural e econômico de povoamentos de eucalipto na região do cerrado de Minas Gerais.** 1997. 131p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1997

MORA, A.L. **Interação com espaçamentos e locais em clones de *Eucalyptus* no norte do estado da Bahia.** 1986. 101p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1986.

OLIVEIRA NETO, S.N.; REIS, G.G.; REIS, M.G.F.; NEVES, J.C.L. Produção e distribuição de biomassa em *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. em resposta à adubação e ao espaçamento. **Revista Árvore**, Viçosa, v.27, n.1, p.15-23, 2003.

REZENDE, G.C. Novas técnicas de espaçamento para *Eucalyptus* spp. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, n.130, p.1-9, 1981.

RIZZO, L.T.B. **Levantamento semi-detalhado dos solos da fazenda Águas Virtuosas**. Altinópolis, Votorantim Celulose e Papel, 2001. 55p.

SAS 8.1. SAS Institute Inc. Carry, NC, 2001.1 CD-ROM.

SIMÕES, J.W.; LEITE, N.B.; BRANDI, G. **Formação, manejo e exploração de florestas com espécies de rápido crescimento**. Brasília: IBDF, 1981. 131p.

SOUSA, R.N. **Efeito de dois espaçamentos na produção em peso e volume de *Eucalyptus grandis***. 1989. 88p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1989.

STAPE, J.L. **Utilização de delineamento sistemático tipo “leque” no estudo de espaçamentos florestais**. 1995. 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1995.

STAPE, J.L. Manejos de *Eucalyptus* spp. para desdobro frente aos abanicos silviculturais de produção. In: SEMINÁRIO SOBRE PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DE MADEIRAS DE REFLORESTAMENTO, 4, 1996, Curitiba. **Anais...Curitiba**, PR: UFPR, 1996, p.17-28.

STAPE, J.L. **Production ecology of clonal *Eucalyptus* plantations in northeastern Brazil**. 2002. 250 p. Thesis (Ph.D.) - Colorado State University. Fort Collins, 2002.

STAPE, J.L.; BINKLEY, D.; TAKAHASHI, E.N.; JACOB, W.S. Impacts of water, nutrient and dominance manipulations on the productivity of a clonal *Eucalyptus* plantation in a sandy oxisol in Brazil. In: *Eucalyptus* in a changing world. Proc. IUFRO, Aveiro, 2004, p.25-27.

STAPE, J.L. Espaçamento de plantio e dominância entre árvores. In: Reunião técnica do programa temático em silvicultura e manejo PTSM, 22. IPEF, Telêmaco Borba, 2004, p.16-22.

STAPE, J.L.; BALLONI, E.A.; ZANI FILHO, J. Planejamento técnico em plantios florestais na Ripasa. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v.6, n.18, p.1-43, 1988.

VALE, A.B.; PAIVA, H.N.; FELFILI, J.M.; NASCIMENTO, A.G. **Influência do espaçamento e do sítio na produção florestal**. Viçosa: SIF, 1982. 20p.

ZOBEL, B.J. et al., **Growing exotic plants**. New York: Wiley – Interscience, 1987. 528p.