



## **Efeito do espaçamento no crescimento de plantios clonais de *Eucalyptus* em locais com diferente disponibilidade hídrica**

Thiago Wendling Gonçalves de Oliveira<sup>1</sup>  
Gabriela Gonçalves Moreira<sup>2</sup>  
Pedro Vitor Pimenta<sup>3</sup>  
Gabriel Gonçalves Borges<sup>4</sup>  
Marcelo Fernandes Ferreira<sup>5</sup>  
Higor Gustavo de Souza Leite<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Sylvamo do Brasil, [thiago.oliveira@sylvamo.com](mailto:thiago.oliveira@sylvamo.com)

<sup>2</sup> Bracell, [gabriela.goncalves.moreira@gmail.com](mailto:gabriela.goncalves.moreira@gmail.com)

<sup>3</sup> Sylvamo do Brasil, [pedro.pimenta@sylvamo.com](mailto:pedro.pimenta@sylvamo.com)

<sup>4</sup> Sylvamo do Brasil, [Gabriel.Borges1@sylvamo.com](mailto:Gabriel.Borges1@sylvamo.com)

<sup>5</sup> Sylvamo do Brasil, [marcelo.fernandes@sylvamo.com](mailto:marcelo.fernandes@sylvamo.com)

<sup>6</sup> Sylvamo do Brasil, [higor.leite@sylvamo.com](mailto:higor.leite@sylvamo.com)

**RESUMO:** *O espaçamento influi na produtividade atingível dos plantios florestais e conseqüentemente no ganho econômico. O objetivo desse trabalho foi analisar os melhores espaçamentos para quatro clones comerciais no delineamento Nelder. O experimento foi instalado em dois locais que apresentam distinta disponibilidade hídrica e textura do solo. As análises estatísticas foram feitas considerando como fator o local, clone e o espaçamento sobre o volume individual ( $vi$ ) e por hectare ( $V$ ). Diferença significativa foi observada para clone e espaçamento para  $vi$  e  $V$ . O maior  $V$  foi observado nos espaçamentos mais adensados, contudo observamos que a partir de 2000 árvores por hectare o incremento em  $V$  é muito pequeno. Para ambos os locais a densidade ótima de plantio fica entre 1000 a 2000 árvores por hectare para todos os materiais genéticos.*

*Palavras-chave: eucalipto, crescimento, volume de madeira, árvores por hectare*

### **Introdução**

A escolha correta do espaçamento de plantio é um dos definidores da obtenção da produtividade atingível nas plantações de eucalipto e as pressões ambientais relacionadas ao desmatamento fazem que o uso da terra seja otimizado visando a obtenção da máxima produtividade potencial em cada local (Binkley et al., 2017). O espaçamento de plantio também exerce influência no uso final da madeira com a obtenção de árvores com diferentes tamanhos ao longo do ciclo e na qualidade do sítio, onde espaçamentos mais adensados proporcionam maior estresse hídrico (Hakamada et al., 2017).

A diferença de crescimento das árvores nos diferentes espaçamentos se deve principalmente aos diferentes desenvolvimentos da copa dos materiais genéticos, contrastando na habilidade das plantas em capturar luz pela disponibilidade de maior espaço entre árvores (Mattos et al., 2020). Economicamente o espaçamento adequado também difere em relação aos custos de viveiro, implantação, manutenção, colheita e transporte florestal, onde devemos observar que a produtividade



otimizada deve ser comparada com o espaçamento que teve o menor custo de produção (Stape et al., 2022). Diante do exposto o objetivo do trabalho é analisar quais são os melhores espaçamentos de plantio, em relação a produtividade, para quatro clones comerciais em dois locais com disponibilidade hídrica e textura do solo distintas.

## Material e métodos

Os experimentos foram instalados em dois locais no estado de São Paulo: 1) Mogi Guaçu (MG) em área com solo argiloso e com média anual de déficit hídrico de 184 mm ano<sup>-1</sup> e 2) São Simão (SS) em área com solo arenoso e com média anual de déficit hídrico de 348 mm ano<sup>-1</sup>. O experimento foi instalado no delineamento tipo-leque (Nelder, 1962) com 4 materiais clonais de híbridos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *E. urophylla* S.T. Blake (C1, C2, C3 e C4) e com oito repetições (raios) por em cada espaçamento (Tabela 1).

**Tabela 7.** Número de árvores e área de cada planta utilizada nos delineamentos do Nelder para os quatro clones avaliados.

Tratamento	Distância do Centro (m)	Número de árvores (árv ha <sup>-1</sup> )	Área de cada planta (m <sup>2</sup> árv <sup>-1</sup> )
1	7,78	4875	2,05
2	9,42	3323	3,01
3	11,41	2266	4,41
4	13,82	1545	6,47
5	16,74	1053	9,5
6	20,27	718	13,93
7	24,55	489	20,43
8	29,73	334	29,97

O plantio manual foi realizado em maio de 2017 em MG e julho de 2017 em SS. Antes do plantio foi realizado a calagem com aplicação de calcário dolomítico (1,5 t ha<sup>-1</sup>) em área total. As fertilizações também foram feitas em três fases: 1) A adubação de base na cova antes do plantio com a aplicação de 260 kg ha<sup>-1</sup> de N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O (09-36-12) + 0,2% Cu + 0,4% Zn; 2) Aos 4-6 meses pós plantio a adubação de cobertura com a aplicação de 360 kg ha<sup>-1</sup> de N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O (12:00:30) + 1,0% B ao redor da árvore e; 3) Aos 12-14 meses após o plantio outra adubação de cobertura com aplicação de 180 kg ha<sup>-1</sup> N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O (00:00:54) + 1,0% B ao redor da árvore. As doses por planta das adubações nesse experimento foram variáveis devido a diferença da área de cada planta. As mensurações foram realizadas anualmente a partir do primeiro ano de plantio (2018) até o quinto ano de plantio (2022), onde foi mensurado diâmetro à altura do peito (DAP - cm) com fita dendrométrica e altura total (H - m) com uso do hipsômetro Vertéx ®. As estimativas do incremento médio anual



(IMA –  $m^3 ha^{-1} ano^{-1}$ ) ocorreram através do cálculo do volume individual ( $v_i - m^3$ ) utilizando o logaritmo do modelo de Schumacher-Hall (1933) por clone ( $\ln(v_i) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(DAP) + \beta_2 \cdot \ln(H)$ ).

O volume por hectare ( $V - m^3 ha^{-1}$ ) foi calculado multiplicando o volume individual pelo número de árvores por hectare. Os dados de  $v_i$  e  $V$  do segundo e quinto ano de plantio foram avaliados através da análise de variância por local, considerando a interação entre clone e árvores  $ha^{-1}$  em cada idade de plantio. As médias dos clones e espaçamentos em cada local foi comparada usando o teste de Tukey à 5% de significância. O software usado para análises foi o R (R Core Development Team, 2019).

## Resultados e discussão

Efeito significativo foi observado para a interação entre clone e número de árvores  $ha^{-1}$  para  $v_i$  e  $V$  no sítio com solo arenoso (SS) aos 24 e 60 meses de idade. Para o sítio com solo argiloso (MG), apenas o efeito de clone foi significativo nas duas idades para  $v_i$  e  $V$ , e a interação foi significativa apenas para  $v_i$  aos 24 meses de idade. (Tabela 2). Para o sítio com solo arenoso (SS) o clone mais produtivo aos 24 meses foi o C4 ( $42 m^3 ha^{-1}$ ) e aos 60 meses foi o C2 ( $163 m^3 ha^{-1}$ ), para o sítio com solo argiloso (MG) o clone mais produtivo foi o C4 aos 24 meses ( $76 m^3 ha^{-1}$ ) e aos 60 meses ( $240 m^3 ha^{-1}$ ).

**Tabela 8.** Valor p da análise de variância para os  $v_i$  (volume individual) e  $V$  (volume  $ha^{-1}$ ) considerando efeito de clone e espaçamento nos dois locais de plantio.

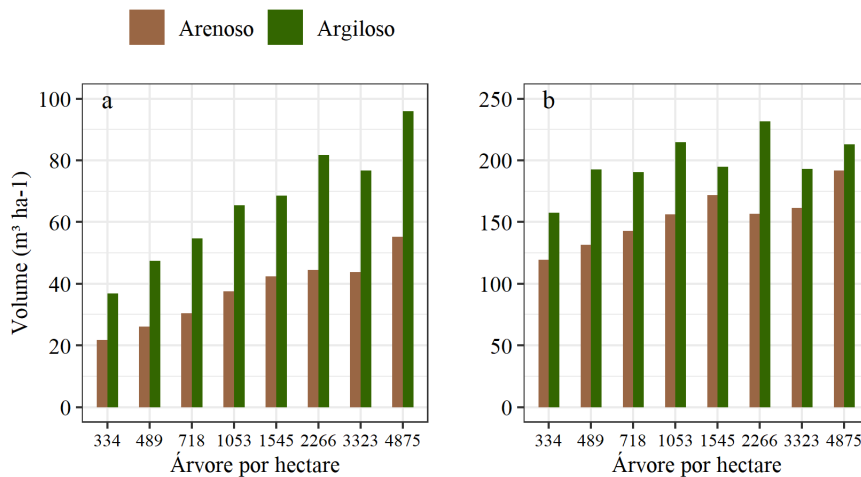
Locais	Efeitos	24 meses		60 meses	
		$v_i$	$V$	$v_i$	$V$
Argiloso (MG)	Clone	< 0,001	< 0,001	0,002	< 0,001
	Árv $ha^{-1}$	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0652
	Clone * Árv $ha^{-1}$	0,002	0,2970	0,2947	0,6570
Arenoso (SS)	Clone	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
	Árv $ha^{-1}$	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
	Clone * Árv $ha^{-1}$	< 0,001	0,0114	0,019	< 0,001

Aos 24 meses de idade, o aumento do número de árvores por hectare levou a um aumento do volume por hectare, e esse padrão é observada para ambos os sítios (Figura 1 a). Entretanto, o volume por hectare aos 60 meses de idade não aumento junto com o número de árvores por hectare, onde foi encontrado que o número de árvores por hectare ótimo (maior  $V$ ) para ambos os sítios fica em torno de 1000 a 2000 árvores por hectare (Figura 1 b).

Conforme Ribeiro et al. (2017), o aumento excessivo do número de árvores por hectare causa aumento da competição por luz, água e nutriente entre plantas, o que pode levar a maior mortalidade e menor volume individual, aumentando os custos da colheita, implantação e manutenção da floresta.

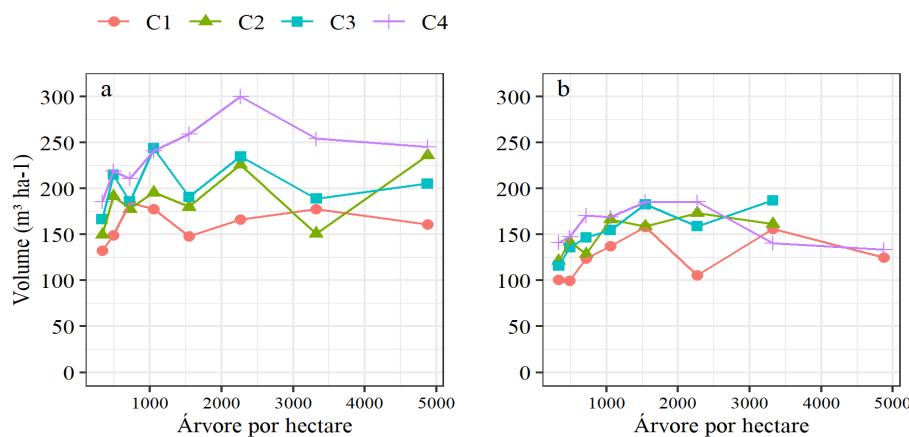


Também foi observado que o sítio com maior déficit hídrico (SS – Arenoso) apresentou maior redução do  $vi$  e  $V$  ao longo do ciclo, indicando que independente do espaçamento a disponibilidade de água é o principal fator para o crescimento do eucalipto (Rubilar et al., 2020).



**Figura 12.** Mudanças no volume por hectare ( $V$ ) com aumento do número de árvores por hectare para os sítios com solo Arenoso e Argiloso aos 24 meses de idade (a) e 60 meses de idade (b).

Os clones apresentaram respostas diferentes de crescimento em relação ao número de árvores por hectare. Para o sítio com solo argiloso, o clone C4 apresentou o maior  $V$  a partir de 1000 árvores por hectare, e para os demais clones observamos que 1000-2000 árvores hectare propiciaram o maior  $V$  (Figura 2 a). No sítio com solo arenoso observamos menor crescimento para todos os clones, e observamos que de maneira geral  $180 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  foi observado para todos os clones entre 1000 a 1500 árvores por hectare. Para os clones C2 e C3, a partir de 3000 árvores por hectare foi observada mortalidade das plantas no sítio Arenoso (Figura 2 b).



**Figura 13.** Efeito do número de árvores por hectare no crescimento dos diferentes materiais genéticos aos 60 meses de idade no sítio Argiloso (a) e Arenoso (b).



## Conclusão

O espaçamento afeta a produção de volume aos 24 meses e 60 meses de idade de plantio para os sítios com solo Arenoso e Argiloso, contudo aos 60 meses o aumento do número de árvores por hectare não é indicativo de maior volume por hectare em ambos os locais. O espaçamento ótimo de plantio para ambos os sítios está entre 1000 a 2000 árvores por hectare, onde todos os materiais genéticos atingem elevado volume por hectare, e conseqüentemente não resultando em aumento de custos e perdas econômicas com menor produção de madeira por unidade de área.

## Referências bibliográficas

- BINKLEY, D.; CAMPOE, O.C.; ALVARES, C.; CARNEIRO, R.L.; CEGATTA, Í.; STAPE, J.L. The interactions of climate, spacing and genetics on clonal *Eucalyptus* plantations across Brazil and Uruguay. *Forest Ecology and Management*, v. 405, p. 271–283, 2017.
- HAKAMADA, R.; HUBBARD, R. M.; FERRAZ, S.; STAPE, J.L.; LEMOS, C. Biomass production and potential water stress increase with planting density in four highly productive clonal *Eucalyptus* genotypes. *Southern Forests*, v. 79, n. 3, p. 251–257, 2017.
- MATTOS, E.M.; BINKLEY, D.; CAMPOE, O.C.; ALVARES, C.A.; STAPE, J.L. Variation of canopy structure, leaf area, light interception and light use efficiency among *Eucalyptus* clones. *Forest Ecology and Management*, 463, 118038, 2020.
- NELDER, J.A. New kinds of systematic designs for spacing experiments. *Biometrics*, Washington, 18, p. 283-307, 1962.
- R Core Development Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, 2019.
- RIBEIRO, M.D.S.B.; JORGE, L.A.B.; MISCHAN, M.M.; SANTOS, A.L.; BALLARIN, A.W. Avaliação da produção de biomassa do fuste de um clone híbrido de eucalipto sobre diferentes espaçamentos. *Ciência Florestal*, 27, 1, p. 31-45, 2017.
- RUBILAR, R.; HUBBARD, R.; EMHART, V.; MARDONES, O.; QUIROGA, J.J.; MEDINA, A.; VALENZUELA, H.; ESPINOZA, J.; BURGOS, Y.; BOZO, D. Climate and water availability impacts on early growth and growth efficiency of *Eucalyptus* genotypes: The importance of GxE interactions. *Forest Ecology and Management*, 458, 117763, 2020.
- SCHUMACHER, F.X., HALL, F.S. Logarithmic expression of timber volume. *Journal of Agriculture Research*, 47, p. 719-734, 1933.
- STAPE, J.L.; SILVA, C.R.; BINKLEY, D. Spacing and geomtric layout effects on the productivity of clonal *Eucalyptus* plantations. *Trees, Forests and People*, 100235, 2022.

