



Desempenho silvicultural de *Eucalyptus urograndis* em diferentes densidades de plantio

Silvicultural performance of *Eucalyptus urograndis* at different planting densities

D. E. Vera^{1*}; V. A. Laura²; A. M. Couto¹

¹Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul, 79200-000, Aquidauana-MS, Brasil

²Grupo de Pesquisa Sistemas de Produção, Embrapa Gado de Corte, 79106-550, Campo Grande-MS, Brasil

*damaris_vera@outlook.com

(Recebido em 05 de junho de 2023; aceito em 16 de outubro de 2023)

O objetivo do artigo foi avaliar o efeito de 18 densidades de plantio distintas sobre o desenvolvimento das variáveis dendrométricas do clone H13 de *Eucalyptus urograndis*, em Ribas do Rio Pardo, MS, realizando mensurações em área experimental de uma roda de competição. O desenho experimental proposto por Nelder permitiu a avaliação de densidades de plantio variando entre 180 a 1.332 plantas ha⁻¹. As variáveis dendrométricas foram: DAP, altura total, altura de inserção e comprimento de copa, volume individual, volume por hectare, fator de forma e conicidade, sendo elas estudadas de forma separadas e conjuntas através da Análise de Componente Principal (PCA). Dentre os resultados, grande parte das variáveis foram influenciadas pela densidade, sendo as que mais se destacaram foram o DAP e o volume individual nas menores densidades; também foi possível observar a tendência dessas densidades de plantio em produzir árvores cônicas, prejudicial para o rendimento da madeira em toras, por outro lado a maior quantidade de árvores por área influencia mais no volume total de madeira, além de produzir árvores menos cônicas. A análise de componente principal possibilita a observação das relações entre as variáveis estudadas, permitindo saber quais variáveis estão contribuindo mais para a variância conjunta dos dados, sendo que essas informações são essenciais e eficazes para auxiliar na tomada do planejamento florestal.

Palavras-chave: roda de competição, variáveis dendrométricas, volume de madeira.

The objective of the article was to evaluate the effect of 18 different planting densities on the development of dendrometric variables of clone H13 of *Eucalyptus urograndis*, in Ribas do Rio Pardo, MS, performing measurements in an experimental area of a competition wheel. The experimental design proposed by Nelder allowed the evaluation of planting densities ranging from 180 to 1.332 plants ha⁻¹. The dendrometric variables were: DBH, total height, insertion height and crown length, individual volume, volume per hectare, form factor and conicity, which were studied separately and jointly through Principal Component Analysis (PCA). Among the results, most of the variables were influenced by density, and the ones that stood out were DBH and individual volume in the lowest densities; it was also possible to observe the tendency of these planting densities to produce conical trees, harmful to the wood yield in logs, on the other hand the greater amount of trees influences more the total volume of wood, in addition to producing less conical trees. The principal component analysis allows the observation of the relationships between the variables studied, allowing to know which variables are contributing more to the joint variance of the data, and this information is essential and effective to assist in forestry planning.

Keywords: competition wheel, dendrometric variables, wood volume.

1. INTRODUÇÃO

Desde seu início no Brasil, a silvicultura tem sido alvo de visibilidade e importância socioeconômica, se consolidando através do tempo e figurando atualmente como uma das atividades de grande interesse econômico. Nos últimos 50 anos, vem ocorrendo a ampliação de áreas e aumento da produtividade das florestas plantadas, impulsionando o crescimento do setor florestal [1]. Segundo o último relatório do IBÁ (2022) [2] o Brasil, em 2021 totalizou de floresta plantada uma área de 9,93 milhões de hectares, sendo que 75,8% são ocupados por plantios de *Eucalyptus* spp., comumente realizados em terras antes degradadas. O sucesso da eucaliptocultura brasileira se deve ao aumento de investimentos e tecnologias nesse ramo.

As espécies de eucalipto são fortemente utilizadas devido à adaptação edafoclimática que reflete em rápido crescimento e capacidade produtiva superior. Esse cenário não foi diferente no

estado do Mato Grosso do Sul, com uma produção em destaque nacional na atualidade. O estado possui uma área de cerca de 1,1 milhão de hectares de florestas plantadas de eucalipto [3], ocupando o segundo lugar em área de eucalipto do país, com a tendência de aumento e grandes investimentos em novas fabricas de celulose no estado [2], sendo Ribas do Rio Pardo um dos polos que estão recebendo novas fábricas. A ampliação da atividade florestal associada à essencialidade de práticas sustentáveis de desenvolvimento estimulou a implantação do sistema ILPF (Integração Lavoura-Pecuária-Floresta). Hoje o estado se destaca nacionalmente no uso dos sistemas de integração, com cerca de 3,1 milhões de hectares destinados à utilização dessa tecnologia [3].

Outra tecnologia implantada no setor florestal foram os programas de melhoramento genético com o eucalipto, através da seleção de clones que possibilitaram a utilização de um material com características desejáveis e maior produção [4]. O Clone H13 híbrido de *Eucalyptus urograndis* é adaptado a climas frios e ambientes com déficit hídrico, além de possuir rusticidade e resistência, podendo ser empregado em aplicações estruturais [5]. Esse clone apresenta precocidade e alta produtividade para a produção de celulose, móveis, carvão e energia [5, 6], obtendo melhor desempenho em menores densidades de plantio [7]. Para que se comprovem as características de crescimento de cada clone faz-se necessário que ocorra a interação do clone nas regiões de produção, bem como seu crescimento em diversas densidades de plantio.

No planejamento florestal uma das grandes decisões a ser tomada é a escolha da densidade de plantio, a área útil que uma árvore é submetida desde seu plantio influencia a produção volumétrica [8], sendo oportuno planejar a densidade de plantio para obter uma produção florestal desejada [9]. A disposição das árvores no plantio não irá influenciar apenas o crescimento volumétrico, como também a qualidade da madeira, refletindo no produto final e na sua utilização [10]. É importante que sua escolha considere estudos já realizados, para que assim seja planejado o plantio de forma coerente com o objetivo final do povoamento a ser implantado.

O espaçamento de um plantio florestal está ligado às taxas de crescimento, idade de corte, manejo, custos de produção e lucro final. Indo além do volume final da madeira pois, influencia na qualidade da madeira, dimensão dos nós, retidão do tronco e densidade básica da madeira [10]. O número inicial de mudas na implantação de um povoamento florestal é diversificado, dependendo da fertilidade do solo e do regime das chuvas além da finalidade da madeira. Em plantios convencionais, são utilizados espaçamentos menores com maior número de árvores por hectares [11]. Já em sistemas de integração de produção é utilizada uma menor quantidade de mudas, uma vez que, nesses plantios as árvores estão integradas a outros elementos do sistema, como pastagens ou culturas agrônômicas, com contribuições significativas para a sustentabilidade da pecuária em regiões tropicais [12].

Para que se possa avaliar espaçamentos florestais são, comumente, necessárias grandes áreas, podendo ser um inconveniente à pesquisa, pois outros fatores iriam influenciar nas repostas, como diferença entre solos, regime hídrico e declividade do local. Devido a isto, Nelder (1962) propôs delineamentos sistemáticos com fator quantitativo contínuo, que utiliza pequenas áreas de plantio, eliminando ao máximo todo fator de campo e tendo como única variável a densidade de plantio. Esse delineamento visa avaliar diferentes densidades e sentidos de orientação de plantio em áreas relativamente pequenas quando comparado aos delineamentos convencionais de plantios florestais [13]. Com a importância dos estudos que avaliem o desenvolvimento do eucalipto para cada região e para diversas densidades de plantio, esse delineamento experimental auxilia na tomada de decisões mais precisas, de acordo com a finalidade do plantio e os componentes envolvidos, sendo seu grande diferencial o maior número de densidades avaliadas, quando comparado na literatura.

Diante do exposto, considerando a importância do planejamento florestal e levando em consideração as melhores estratégias para a quantificação volumétrica, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito da densidade de plantio sobre o desenvolvimento das variáveis dendrométricas do clone H13 de *Eucalyptus urograndis*, no município de Ribas do Rio Pardo, MS.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização da área experimental

O presente experimento foi executado na área experimental implantada na Fazenda Nova Brilhante da empresa Ramires Reflorestamentos, em Ribas do Rio Pardo, MS (Rod. BR 262, km 281), em parceria com a Embrapa Gado de Corte. O clima regional é classificado como tropical úmido (Aw), segundo a classificação de Köppen, com estação chuvosa no verão e seca no inverno. A precipitação pluvial média anual situa-se em torno de 1.500 mm, sendo os meses de menor precipitação junho, julho e agosto. A temperatura média anual oscila entre 19 °C a 25 °C.

Originalmente a área era ocupada por braquiária (*Brachiaria decumbens* cv. Basilisk), formada há mais de 20 anos em solo classificado como Neossolo Quartzarênico, de relevo plano. Para o plantio do eucalipto, a área foi preparada conforme a rotina utilizada nos plantios comerciais da fazenda, ou seja, dessecação da braquiária com herbicida glifosato e, após 15 dias, subsolagem a 0,60 m com abertura de sulcos e adubação. Em maio de 2008 realizou-se o plantio, com mudas de *E. urograndis* do clone H13, produzidas comercialmente na própria fazenda, implantadas em uma roda de competição, conforme o modelo proposto por Nelder (1962) [13] com o auxílio técnico de pesquisadores da Embrapa.

2.2 Apresentação da roda experimental de Nelder

A roda de competição, também conhecida como delineamento em “leque”, avaliada aos 12 anos de idade, é formada por 22 círculos concêntricos (arcos), com raios variando entre 19,60 e 67,51m, observando-se uma taxa de redução de 12,5% na Densidade de Plantio (DP), ou seja, acréscimo de 6,066% no comprimento do raio a cada novo arco. O ângulo entre os raios da roda é de 15°, resultando em 24 raios, logo, 24 árvores foram plantadas em cada um dos círculos (Figura 1).

Os arcos foram identificados por letras, sendo a letra “A” para o círculo mais interno até a letra “V” para o círculo mais externo. Os dois círculos mais internos (A e B) e os dois mais externos (U e V) foram considerados como bordaduras e não foram avaliados. Este arranjo permite a avaliação, dos arcos C ao T, as seguintes densidades de plantio: 1.332, 1.184, 1.052, 935, 832, 739, 657, 584, 519, 461, 410, 365, 324, 288, 256, 225, 202 e 180 plantas ha⁻¹. Essas 18 densidades de plantio representam desde plantios comerciais com maior número de árvores, como também, plantios consorciados com menor número de árvores.

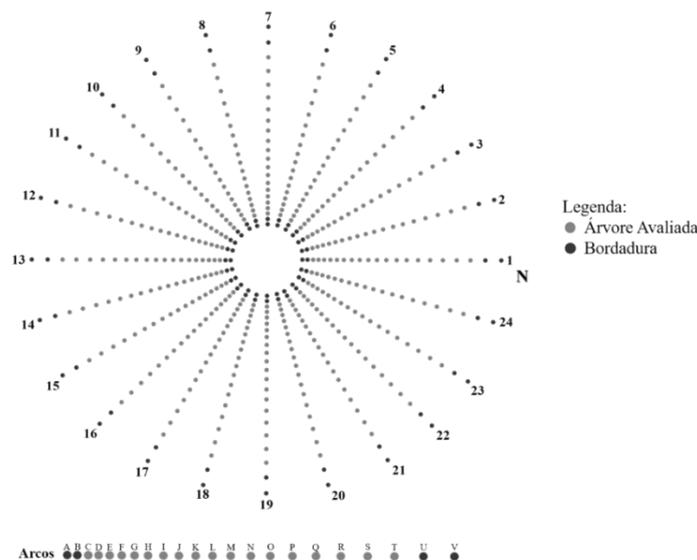


Figura 1: Organização da roda de competição proposto por Nelder para a definição de densidades de plantio de clones de *Eucalyptus urograndis* implantados em Ribas do Rio Pardo, MS.

2.3 Coleta de dados

Foi realizada, em todas as árvores do experimento aos 12 anos de plantio, a mensuração da circunferência com casca a 1,3 m de altura (CAP) com a fita métrica, após transformado em diâmetro (DAP). Com o instrumento Dendrômetro Digital Criterion RD1000 foi mensurado a Altura Total (HT), bem como, as alturas de Comprimento de Copa (CC) das árvores e Inserção de Copa (IC) (a altura até a inserção do primeiro galho).

2.4 Conicidade

A conicidade é uma característica dos troncos das árvores, que expressa a diferença do diâmetro das extremidades de uma árvore, pelo seu comprimento. A Conicidade foi estimada pela Equação 1 [14]:

$$CN = \frac{(D_{\max} - D_{\min})}{Ht} \quad (1)$$

Onde: CN = Conicidade (cm m^{-1}); D_{\max} = Diâmetro com casca, obtido na extremidade mais grossa (cm); D_{\min} = Diâmetro com casca, obtido no topo da árvore (igual a 0) (cm); Ht = Altura Total (m).

2.5 Cubagem rigorosa

Para determinação do Volume Individual (VI) por planta com casca, foi realizado de forma não destrutiva a cubagem rigorosa, também com o auxílio do Dendrômetro Digital. As árvores foram cubadas em pé, sendo coletadas seções de diâmetro a cada um metro por todo o fuste, desde a base até os primeiros galhos. O volume individual foi determinado pela Equação 2 de acordo como a fórmula de Smalian [15] e após foi estimado o Volume por Área (VA) (Equação 3) para cada densidade de plantio (DP).

$$VI = \sum \left[\frac{(AS_1 + AS_2)}{2} * L \right] + V_{\text{ponta}} \quad (2)$$

Onde: VI = Volume individual com casca (m^3); L = Comprimento da tora (m); AS_1 = Área seccional no início da seção ($\pi d^2/4$) (m^2); AS_2 = Área seccional no final da seção ($\frac{\pi d^2}{4}$) (m^2); V_{ponta} = Volume a partir da primeira inserção de galho ($\frac{AS_2 * L_{\text{ponta}}}{3}$) (m^3).

$$VA = V * DP \quad (3)$$

Onde: VA = Volume por área ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$); DP = Densidade de plantio.

2.6 Fatos de forma

Através do volume real da árvore e da forma cilíndrica foi determinado o Fator de Forma (FF) para cada árvore mensurada, através da Equação 4 [15].

$$ff_{1,30} = \frac{V_{\text{real}}}{V_{\text{cilindro}}} \quad (4)$$

Onde: $ff_{1,30}$ = Fator de Forma; V_{real} = Volume Individual (Equação 2) (m^3); $V_{\text{cilindro}} = \pi.r^2.h$ (m^3).

2.7 Análise de dados

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), sendo os tratamentos as densidades de plantio (1.332 a 180 plantas ha⁻¹), com 24 repetições (24 raios). As variáveis dendrométricas analisadas foram diâmetro à altura do peito (DAP), altura total (HT), altura de inserção (IC) e comprimento de copa (CC), volume individual (VI), volume por área (VA), fator de forma (FF) e conicidade (CN), foram submetidos à análise estatística descritiva para determinação da média, valores máximos e mínimos, mediana, coeficiente de variação (CV%) e desvio padrão da média. O coeficiente de correlação (R) foi realizado com as variáveis dendrométricas entre as densidades de plantio. Após verificação da normalidade e homogeneidade, os dados foram previamente submetidos a análise de variância e as variáveis dendrométricas foram comparadas por meio de teste de comparação de médias de Scott-Knott a 95% de probabilidade para cada DP.

Uma análise complementar também foi realizada usando a técnica multivariada de análise de componentes principais - PCA, para avaliar e explicar as inter-relações envolvendo todas as variáveis dendrométricas em termos de suas dimensões inerentes. A PCA é uma técnica de transformação linear dos dados, que utiliza uma série de medidas estatísticas. Sendo realizada com base na matriz de correlação existente entre as variáveis dendrométricas, que resultou na formação de novos valores, os escores de cada componente principal. Todas as análises do presente estudo foram realizadas por meio do programa R *version* 4.2. [16].

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram encontradas diferenças significativas, para a maioria das variáveis dendrométricas, sendo que apenas para a HT e FF não houve diferença (Tabela 1). Para as variáveis com diferenças significativas foram realizado o Teste de Comparação Média Scott-Knott a 95% de probabilidade.

As médias de DAP apresentaram uma resposta proporcional às DP onde, menores quantidades de plantas por hectare apresentaram maiores valores de DAP (Figura 2a). A resposta dada pelo plantio onde maiores densidades de plantio produzem menores DAP, se dá ao fato de que quanto mais árvores por área ocorrerá de forma mais acentuada a competição intraespecífica [17]. Os resultados encontrados corroboram com Da Silva et al. (2016) [18] e Guimarães et al. (2020) [19] já que em estudos com alguns espaçamentos de plantio diferentes, esses autores, encontraram maiores DAP para plantios mais amplos, confirmando o maior crescimento diamétrico quando a planta possui maior área útil. Quanto maior a quantidade de árvores por área, maior será a limitação de luz, água, nutrientes e espaço disponível para o desenvolvimento do plantio [20], influenciando diretamente no DAP médio do plantio.

A performance da HT e do DAP em função das DP são distintos. Diferente do DAP que apresentou um comportamento inversamente proporcional às densidades de plantio, a variável HT, não respondeu de forma diferente nas densidades de plantio, sendo não significativo na análise de variância (Figura 2b). Com o aumento do sombreamento em densidades maiores, a tendência era a planta direcionar a maior parte de seus recursos para o crescimento em altura, característica essa não encontrada no presente trabalho [21].

Embora vários estudos tenham abordado a relação da densidade de plantio na altura da planta, essa variável dendrométrica pode apresentar resultados distintos [10, 19]. A luz solar é fundamental para o desenvolvimento da planta, de forma geral, se ocorre o sombreamento excessivo, as plantas tendem a crescer em altura mais rapidamente, para assim se sobressair às demais ao seu redor e encontrar a luz para seu crescimento [22]. Essa característica fisiológica não está presente no delineamento em “leque”, pois em áreas mais adensadas não foram registradas as maiores alturas.

Leite et al. (1997) [23] e Da Silva et al. (2016) [18] encontraram resultados que não mostram tendências consistentes do efeito da densidade de plantio na variável altura, assim como para o clone H13. Valores encontrados pra DAP são mais expressivos e sofrem maior variação, quando submetidos a densidades de plantio diferentes, já a altura das plantas sofre outras influências que interferem nas respostas das DP [24, 25]. Uma dessas interferências pode ser explicada pelo fato de que, com o passar dos anos, o nível de competição aumenta com um número maior de árvores

dominadas, resultando na diminuição das alturas médias nos povoamentos mais densos [26], fato esse que ocorreu no presente estudo.

Tabela 1: Análise de variância, teste de média, estatística descritiva e análise de regressão das variáveis estudadas do clone de *Eucalyptus urograndis* plantado em diversas densidades de plantio em Ribas do Rio Pardo, MS.

Fonte de variação	Quadrado Médio							
	DAP	HT	IC	CC	CN	FF	VI	VA
DP	351,57*	16,807 ^{ns}	34,145*	30,1625*	0,58426*	0,0055338 ^{ns}	9,9193*	164875*
Erro	25,45	13,946	6,824	9,2022	0,03676	0,0039239	0,07724	21004
CV (%)	19,84	13,76	23,71	18,83	18,24	15,78	47,46	52,78
DP	Teste de Comparação de Médias							
	DAP	HT	IC	CC	CN	FF	VI	VA
180	32,10a	26,59	8,21c	18,38a	1,30a	0,395	0,90390a	162,70155d
202	34,05a	26,53	8,65c	17,88a	1,42a	0,405	1,02350a	206,74648d
225	31,25a	26,77	9,43b	17,34a	1,32a	0,394	0,84346a	189,77745d
256	28,76b	26,10	9,58b	16,52a	1,23b	0,390	0,67612b	173,08665d
288	27,99b	27,12	10,28b	16,84a	1,17b	0,385	0,67229b	193,61975d
324	25,70c	27,03	10,86a	16,17a	1,05c	0,391	0,56569c	183,28197d
365	27,83b	27,35	10,48b	16,88a	1,13b	0,401	0,72487b	264,57641c
410	25,91c	28,28	11,43a	16,84a	1,02c	0,391	0,62358b	255,66634c
461	24,01c	27,79	12,24a	15,55b	0,95c	0,396	0,51943c	239,45581c
519	23,58c	28,15	12,09a	16,05a	0,94c	0,400	0,51963c	269,68689c
584	24,62c	28,17	11,77a	16,40a	0,97c	0,392	0,56812c	331,78110b
657	22,38d	27,77	12,35a	15,42b	0,93c	0,401	0,45293d	297,57299c
739	21,60d	28,07	11,88a	16,19a	0,85c	0,352	0,32976d	243,69242c
832	20,25d	26,91	12,20a	14,71b	0,87c	0,427	0,38567d	320,87683b
935	22,36d	27,28	12,59a	14,69b	0,95c	0,377	0,42042d	393,09100a
1052	20,79d	26,68	12,00a	14,68b	0,92c	0,421	0,38224d	402,12058a
1184	20,24d	26,82	11,93a	14,89b	0,86c	0,395	0,34869d	412,84619a
1332	19,83d	24,59	11,14a	13,45b	0,91c	0,431	0,36199d	482,16611a
Estatística descritiva								
	DAP	HT	IC	CC	CN	FF	VI	VA
Média	25,42	27,13	11,02	16,11	1,05	0,396	0,58556	274,59247
Máximo	43,29	35,20	19,00	24,20	2,07	0,719	1,75069	1300,18605
Mínimo	10,66	15,50	4,00	6,20	0,14	0,207	0,10744	24,78846
Mediana	24,83	27,40	11,00	15,90	1,01	0,390	0,51444	235,61266
CV (%)	25,31	13,81	25,90	19,83	23,98	21,589	56,86255	60,95157

Onde: DP: Densidade de plantio; DAP: Diâmetro a 1,30m (cm); HT: Altura total (m); IC: Altura de inserção de copa (m); CC: Comprimento de copa (m); CN: Conicidade (cm m⁻¹); FF: Fator de forma; VI: Volume individual (m³); VA: Volume por área (m³ ha⁻¹); *: Significativo a 95% de probabilidade; ^{ns}: não significativo a 95% de probabilidade; CV (%): Coeficiente de Variação. As médias das densidades de plantio seguidas por letras diferentes se diferem estatisticamente entre si.

A IC e CC também são influenciados pelo espaço disponível que a planta possui para seu crescimento (Figura 2c e 2d). Com essa resposta, é possível observar que a altura de IC sofre maior interferência dos espaçamentos do que a altura total das árvores. Ferreira et al. (2014) [27] observaram comportamento semelhante e afirmaram que a altura dos galhos está intimamente ligada ao afilamento das plantas. Essa resposta se deve ao fato de que um plantio florestal com

maior área útil por planta possui uma maior disponibilidade de luz e espaço para o desenvolvimento de galhos laterais, expandindo as copas das árvores, aumentando as taxas de crescimento das mesmas [28] e também, afetando até crescimento radicular. O tamanho da copa também influencia nos níveis de interceptação da radiação solar, podendo ser prejudiciais para o crescimento da forrageira ou da cultura agrônômica em sistemas de integração [29].

A CN apresentou uma relação inversa entre a DP, onde as árvores mais cônicas se encontram nas menores densidades (Figura 2e). A influência prejudicial da CN na madeira serrada só irá ocorrer quando essa for igual ou maior que 1 cm m^{-1} [30, 31]. A média encontrada para a CN foi de $1,05 \text{ cm m}^{-1}$, onde as DP de 180 a 410 plantas ha^{-1} apresentaram as maiores médias, sendo essas superiores ao valor limite para a influência e acarretam uma CN prejudicial ao desdobramento da madeira, sendo que se seu destino for para madeira serrada a porção de madeira descartada será grande. As DP de 461 a 1.332 plantas ha^{-1} , por sua vez, obtiveram médias menores que 1 cm m^{-1} , não ocorrendo essa influência no rendimento em madeira serrada.

Scanavaca Jr. e Garcia (2003) [32] também encontraram valores para CN que não influenciaram no rendimento, afirmando que a idade do plantio é altamente significativa para a CN, no qual, plantios mais novos tendem a ser mais cilíndricos. Essa variável dendrométrica também pode ser influenciada pelo manejo, principalmente com a desrama artificial. Além da influência na conicidade, a desrama também aumenta a incidência de radiação solar, e prolonga o período de consórcio, em sistemas integrados [33], onde a área útil por plantas é maior, assim como nas menores densidades avaliadas.

Estudos avaliando a conicidade de *E. grandis* aos 21 anos de idade [14] e de diferentes eucaliptos e idades [34], constataram que os maiores valores de conicidade tiveram relação com os maiores DAP. Corroborando que ocorre essa forte relação das maiores classes de diâmetro com árvores mais cônicas [14, 34]. Para o melhor entendimento dessa relação da conicidade com o DAP foi determinado o coeficiente de correlação entre elas. É possível confirmar uma correlação forte e positiva entre a conicidade e o DAP, em que árvores com maiores DAP possuem maiores conicidades, resposta essa também confirmada pela PCA.

Assim como a HT, o FF não apresentou diferenças significativas, com valores variando entre 0,35 e 0,43 (Figura 2f). O FF possui grande utilidade e é uma ferramenta importante para a quantificação volumétrica de forma rápida, mas sua utilização tem que ser de forma ponderada e tomando cuidados para sua aplicação correta [35]. Afirmando que sua utilização tem que levar em conta espécie, idade, espaçamento e sítio florestal [35]. Na literatura é possível observar valores de fator de forma entre 0,36 e 0,47 para plantios de *Eucalyptus* ssp. em diferentes regiões pelo Brasil e em diferentes idades de plantio [35-37]. Mesmo mantendo valores próximos, cada plantio possui um fator de forma distinto, de acordo com suas características e os valores encontrados nesse estudo, estão dentro da média de FF encontrado para eucaliptos no Brasil.

As respostas para o VI apresentaram a mesma tendência observada para a variável DAP, ou seja, os maiores VI estão em áreas que as árvores possuem maior área útil para seu crescimento (Figura 2g). Assim a árvore sofre em menor proporção a competição entre indivíduos vizinhos [20]. Sereghetti et al. (2015) [38] encontraram resultados similares em *E. urophylla* x *E. grandis* e corroboram que em espaçamentos reduzidos o crescimento diamétrico é menor, refletindo em menor volume individual. Resultados semelhantes também foram encontrados por Dos Santos et al. (2017) [39] que afirmam que o maior crescimento em volume está diretamente ligado ao espaço vital das árvores e a competição que elas sofrem [39]. A taxa de crescimento em plantios mais densos diminuiu devido ao aumento da competição e supressão significativa entre linhas de plantio mais estreitas, lembrando que esses autores avaliaram poucas densidades de plantio diferentes, quando comparados ao presente estudo [40].

As DP com menos árvores por área implicam em volumes individuais maiores, mas quando avaliados de forma conjunta, áreas com mais árvores, mesmo apresentando menores VI, apresentam maiores VA. O clone apresentou comportamento no qual, os arranjos mais adensados, obtiveram os maiores valores por unidade de área, mesmo apresentando menores valores individuais (Figura 2h). Esse comportamento demonstrou que o efeito da quantidade de árvores por área é fundamental para a produtividade final do plantio.

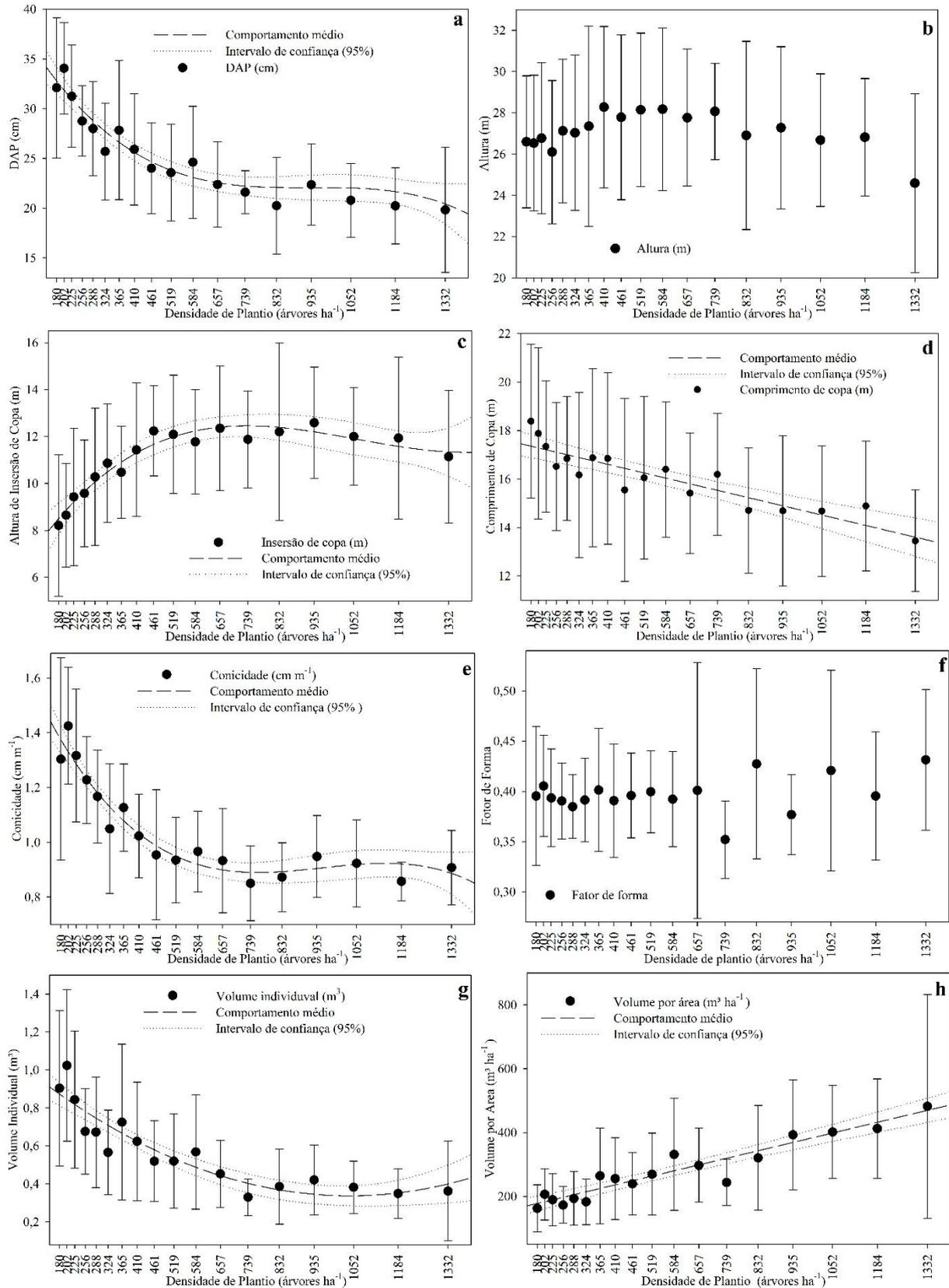


Figura 2. Comportamento médio apresentado pelas variáveis estudadas nas diversas densidades de plantio para o clone de *Eucalyptus urograndis* em Ribas do Rio Pardo, MS. A: DAP; B: Altura total; C: Altura de inserção de copa; D: Comprimento de copa; E: Conicidade; F: Fator de forma; G: Volume individual; H: Volume por área.

Segundo Da Silva et al. (2016) [18] esse comportamento é esperado, pois em espaçamentos reduzidos, há uma maior área basal e um volume de madeira, em decorrência do maior número de plantas por hectare. Aquino et al. (2021) [41] também encontraram esse comportamento, nos espaçamentos mais densos, que obtiveram maiores valores por área. Os autores também relataram a importância da avaliação, em estudo em idades mais avançadas, como o caso do presente trabalho, onde o plantio possui 12 anos de plantio, pois com o passar da idade evidencia-se que os maiores espaçamentos tendem a proporcionar maior volume por planta [41].

E na análise complementar para ressaltar os resultados e as correlações das variáveis estudadas com as DP, foram obtidos oito componentes principais, que explicam 100% da variabilidade dos dados. Com base nos critérios estabelecidos nesse estudo, foram selecionados os componentes principais com autovalor maior que 1, que somando sejam responsáveis por pelo menos 80% da variação total, dessa forma, foram selecionadas dois PC, que foram responsáveis por 89,88% da variação total, em que o PC1 foi responsável por 65,98% e o segundo, PC2, por 23,90% das variações dos dados (Tabela 2). Portanto, os dois primeiros componentes principais resumiram efetivamente a variância amostral total e podem ser utilizados para o estudo do conjunto de dados.

Tabela 2. Autovalores, porcentagem total e acumulada da variância dos componentes principais (PC) gerados a partir das variáveis estudadas do clone de *Eucalyptus urograndis* plantado em diversas densidades de plantio em Ribas do Rio Pardo, MS.

Parâmetros	Componentes principais							
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
Autovalor	5,27	1,91	0,48	0,22	0,08	$8,1 \times 10^{-3}$	$5,00 \times 10^{-4}$	0
Variância (%)	65,98	23,90	6,07	2,83	1,09	0,10	$5,90 \times 10^{-3}$	0
Variância Acumulada (%)	65,98	89,88	95,96	98,80	99,89	99,99	100	100

Com a separação dos primeiros componentes principais, houve a redução da dimensão de oito variáveis dendrométricas originais para dois componentes principais. Apresentando os autovetores dos PC selecionados e o com o intuito de se entender a importância de cada variável na construção dos dois componentes foi calculado a correlação entre as variáveis originais e os componentes principais (Tabela 3).

Tabela 3. Autovetores e correlação entre componentes principais (PC) selecionados e as variáveis dendrométricas estudadas do clone de *Eucalyptus urograndis* plantado em diversas densidades de plantio em Ribas do Rio Pardo, MS.

Variáveis	Autovetores		Correlação	
	PC1	PC2	PC1	PC2
DAP	0,43	0,03	0,99	0,05
HT	-0,02	-0,66	-0,04	-0,92
IC	-0,40	-0,25	-0,91	-0,35
CC	0,41	-0,21	0,94	-0,28
CN	0,42	0,17	0,96	0,24
FF	-0,10	0,59	-0,23	0,82
VI	0,42	0,09	0,97	0,13
VA	-0,36	0,26	-0,83	0,36

Onde: DAP = Diâmetro a 1,30m; HT = Altura total; IC = Altura de inserção de copa; CC = Comprimento de copa; CN = Conicidade; FF = Fator de forma; VI = Volume individual; VA = Volume por área

No primeiro componente principal destacaram-se as variáveis dendrométricas DAP, CN e VI, que apresentaram contribuições similares para o PC1, o que foi verificado pelos vetores de maior comprimento e mais próximos ao eixo PC1 (Figura 3). Existem correlações altas entre essas variáveis e o comprimento de copa, pois formaram ângulos agudos entre as variáveis. E entre as demais variáveis não existe essa correlação, pois formam ângulos maiores de 90 graus. No

segundo componente principal ficou evidente o contraste entre altura total e fator de forma, sendo essas pouco correlacionadas entre si, e com as demais variáveis.

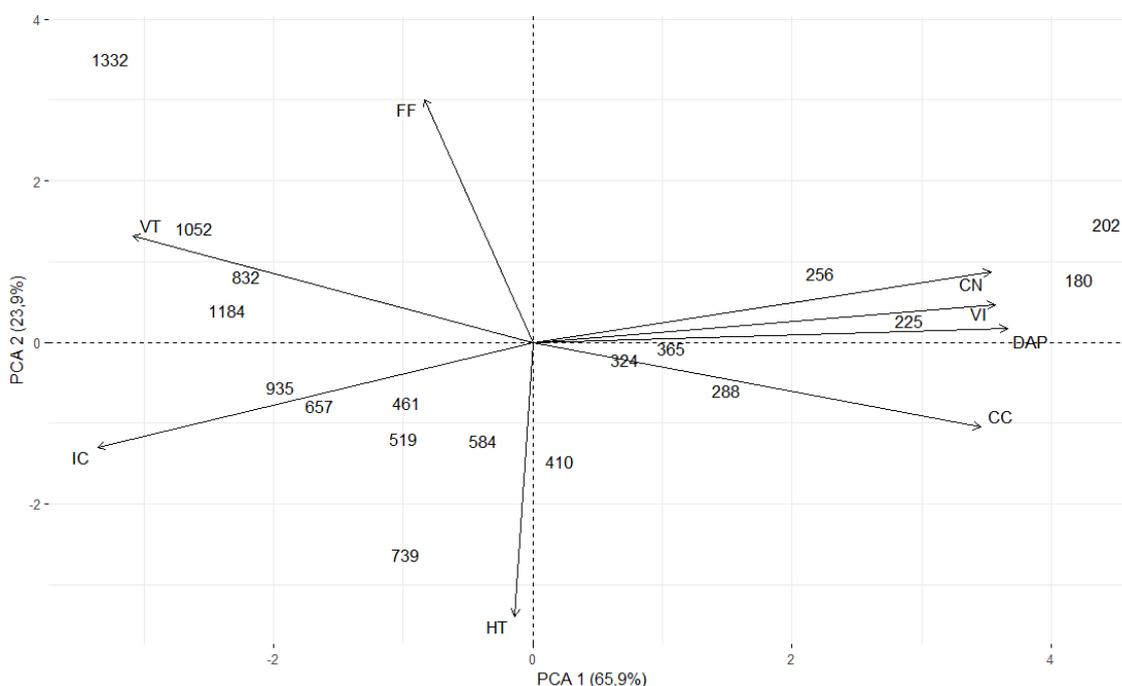


Figura 3. Dispersão das 18 densidades de plantio e das variáveis dendrométricas em relação aos componentes principais 1 e 2. Onde: DAP = Diâmetro a 1,30m; HT = Altura total; IC = Altura de inserção de copa; CC = Comprimento de copa; CN = Conicidade; FF = Fator de forma; VI = Volume individual; VA = Volume por área

Para o PC1, as DP com 180, 202, 225 e 256 plantas ha^{-1} apresentam maiores DAP e VI (Figura 3), características importantes na quantificação total de madeira do plantio, por outro lado, apresentam também altos valores de conicidade, prejudicial ao desdobro da madeira. Essa informação para produtores florestal pode servir como referencial para a escolha correta dos tratamentos silviculturais, como a desrama das árvores. Pelo PC2, conclui-se que as DP médias avaliadas nesse estudo são as que apresentam maiores valores de altura total e com 1.332, 1.052 e 202 plantas ha^{-1} , apresentam maior fator de forma e menores volumes.

Esses resultados indicam que a análise multivariada de componentes principais mostra-se eficaz para auxiliar na tomada de decisão da densidade de plantio para produção de madeira. Essa análise possibilita a observação das relações entre as variáveis estudadas, permitindo saber qual ou quais variáveis estão contribuindo mais para a variância conjunta dos dados, informações essas essenciais para o planejamento florestal.

4. CONCLUSÃO

As densidades de plantio influenciam as variáveis dendrométricas, DAP, altura de inserção e comprimento de copa, conicidade, volume individual e total do plantio. A altura total e o fator de forma foram as variáveis estudadas que não apresentaram influência da densidade de plantio.

As menores densidades de plantio (180 a 410 plantas ha^{-1}) produziram os maiores DAP e volumes de forma individuais, mas por outro lado produzem árvores com conicidade superiores a $1,0 \text{ cm m}^{-1}$, não sendo indicadas essas densidades de plantio para a produção de madeira para desdobro aos 12 anos, sem que haja um tratamento silvicultural adequado.

A análise de componentes principais se mostrou eficaz para auxiliar com informações essenciais para o planejamento florestal, permitindo saber as variáveis que contribuem para a variância conjunta dos dados, ressaltando os resultados e as correlações encontradas no estudo.

Para uma completa análise e correto sortimento da madeira no mercado, recomenda-se avaliações das propriedades químicas e físicas da madeira, para que assim, possa se definir o melhor destino final de plantios do Clone H13 de *E. urograndis*, de cada densidade de plantio, aos 12 anos de idade em Ribas do Rio Pardo, MS.

5. AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Gado de Corte).

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Santarosa E, Penteado Júnior JF, Goulart ICGR. Cultivo de eucalipto em propriedades rurais: Diversificação da produção e renda. Brasília (DF): Embrapa; 2014.
2. Indústria brasileira de árvores. Relatório IBÁ 2022. Brasília (DF): IBÁ; 2022.
3. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Resultado de pesquisa de extração vegetal e silvicultura. IBGE [Internet]; 2019 [acesso em 10 mai 2023]. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ms/pesquisa/16/12705>
4. Higashi EN, Silveira RLVA, Gonçalves AN. Propagação vegetativa de *Eucalyptus*: Princípios básicos e sua evolução no Brasil. Piracicaba (SP): IPEF/ESALQ/USP; 2000.
5. Chaves AGS, Da Silva CS, Franco FM. Planejamento e implantação de um sistema de integração pecuária-floresta (iPF) em pequenas propriedades: um estudo de caso em Cáceres (MT). Scientia Tec. 2017 Jun 30;4(1):173-93. doi: 10.35819/scientiatec.v4i1.2213
6. Serenine Junior L, Melo RR, De Castro VG, De Souza MJC, Batista FG. Qualidade da madeira juvenil de um híbrido clonal (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* – H13). Adv For Sci. 2019 Apr 16;6(1):523. doi: 10.34062/afs.v6i1.6488
7. Souza HS, Lopes ADS, Baretta MC, Dos Santos JOP, Tsukamoto Filho ADA. Crescimento de eucalipto em diferentes arranjos espaciais de sistemas silvipastoris no município de Santa Rita do Trivelato – Mato Grosso. Adv For Sci. 2020 Apr 3;7(1):847. doi: 10.34062/afs.v7i1.5511
8. Corrêa RS, Soares TS, Alves MA, Souza JP, Vieira EM. Espaçamentos de plantio promovem produção distinta em híbrido de eucalipto. Adv For Sci. 2020 Nov 3;7(3):1073-9. doi: 10.34062/afs.v7i3.7887
9. Farinha Watzlawick L, Carla Benin C. Variáveis dendrométricas e produção de *Eucalyptus benthamii* em diferentes espaçamentos. Colloq Agrariae. 2020 Nov 3;16(6):111-20. doi: 10.5747/ca.2020.v16.n6.a413
10. Scolforo JRS. Manejo florestal. Lavras (MG): UFLA/FAEPE; 1998.
11. Wilcken CF, Lima ACV, Dias TKR, Masson MV, Ferreira Filho PJ, Dal Pogetto MHFA. Guia Prático de Manejo de Plantações de Eucalipto. Botucatu (SP): FEPAF; 2008.
12. Pezzopane JRM, Nicodemo MLF, Bosi C, Garcia AR, Lulu J. Animal thermal comfort indexes in silvopastoral systems with different tree arrangements. J Therm Biol. 2019 Jan;79:103-11. doi: 10.1016/j.jtherbio.2018.12.015
13. Nelder JA. New kinds of systematic designs for spacing experiments. Biometrics. 1962 Sep;18(3):283-307. doi: 10.2307/2527473
14. Lima IL, Garcia JN. Efeito do desbaste e da fertilização na porcentagem de casca e conicidade de toras de *Eucalyptus grandis*. Floresta. 2010;41(2):305-12.
15. Soares CPB, De Paula Neto F, De Souza AL. Dendrometria e inventário florestal. 2. ed. Viçosa (MG): UFV; 2011.
16. Rstudio R package version 4.2.2. R Core Team; 2022. Disponível em: <https://www.R-project.org/>
17. Stape JL, Binkley D, Ryan MG, Fonseca S, Loos RA, Takahashi EN, et al. The Brazil *Eucalyptus* potential productivity project: Influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. For Ecol Manag. 2010 Apr;259(9):1684-94. doi: 10.1016/j.foreco.2010.01.012
18. Da Silva RS, Vendruscolo DGS, Da Rocha JRM, Chaves AGS, Souza HS, Da Motta AS. Desempenho silvicultural de *Tectona grandis* L. f. em diferentes espaçamentos em Cáceres, MT. FLORAM. 2016 May 24;23(3):397-405. doi: 10.1590/2179-8087.143015

19. Guimarães VM, Soares TS, Cruz ES. Influência do espaçamento em primeira e segunda rotação de eucalipto manejado sob regime de curta rotação. *Cad Ciênc Agrár.* 2020 Jul 31;12:1-10. doi: 10.35699/2447-6218.2020.19247
20. Cipriani HN, Vieira AH, Rocha RB, Costa JNM, Mendes AM, Araújo LV, et al. Cultivo do eucalipto para madeira em Rondônia. Porto Velho (RO): Embrapa Rondônia; 2015.
21. Santos DC, Guimarães Júnior R, Vilela L, Pulrolnik K, Bufon VB, et al. Forage dry mass accumulation and structural characteristics of Piatã grass in silvopastoral systems in the Brazilian savannah. *Agric Ecosyst Environ.* 2016 Oct;233:16-24. doi: 10.1016/j.agee.2016.08.026
22. Raven PH, Evert RF, Eichhorn SE. *Biologia Vegetal.* 8. ed. Guanabara (RJ): Koogan; 2014.
23. Leite FP, De Barros NF, Ferreira DE, Novais R, Sans LMA, Fabres SA. Crescimento de *Eucalyptus grandis* em diferentes densidades populacionais. *Rev Árvore.* 1997;21(3):313-21.
24. Leles PSS, Reis GG, Reis MGF, Moraes EJ. Crescimento, produção e alocação de matéria seca de *Eucalyptus camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado, MG. *Sci For.* 2001;59:77-87.
25. Lopes ED, De Laia ML, Dos Santos AS, Soares GM, Pinto Leite RW, Martins NDS. Influência do espaçamento de plantio na produção energética de clones de *Corymbia* e *Eucalyptus*. *FLORESTA.* 2017 Mar;47(1):95. doi: 10.5380/rf.v47i1.47141
26. Berger R, Schneider PR, Finger CAG, Haselein CR. Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. *Ci Fl.* 2002 Jun 30;12(2):75-87 doi: 10.5902/198050981682
27. Ferreira GWD, Ferraz Filho AC, Pinto ALR, Scolforo JRS. Influência do desbaste na forma do fuste de povoamentos naturais de *Eremanthus incanus* (Less.) Less. *Semin Cienc Agrar.* 2014 Aug 27;35(4):1707. doi: 10.5433/1679-0359.2014v35n4p1707
28. Ribeiro GS, Righi CA. Canopy architecture of an agroforestry system: initial evaluation of a waveform system. *Agrofor Syst.* 2019 Jun 28;94(2):487-98. doi: 10.1007/s10457-019-00415-2
29. Pezzopane JRM, Bosi C, De Campos Bernardi AC, Muller MD, De Oliveira PPA. Managing eucalyptus trees in agroforestry systems: Productivity parameters and PAR transmittance. *Agric Ecosyst Environ.* 2021 Jun;312. doi: 10.1016/j.agee.2021.107350
30. Mello HA, Simões HA, Mascarenhas Sobrinho L, Do Couto HTZ. Influência do espaçamento e da idade de corte na produção de madeira de eucalipto em solo de cerrado. *IPEF.* 1976 Dez;13:143-62.
31. Grosser D. *Defeitos de madeira.* 2. ed. Curitiba (PR): FUPEF; 1980.
32. Scanavaca Jr L, Garcia JN. Rendimento em madeira serrada de *Eucalyptus urophylla*. *Sci For.* 2023;(63):32-43.
33. Bertomeu M, Roshetko JM, Rahayu S. Optimum pruning intensity for reducing crop suppression in a Gmelina-maize smallholder agroforestry system in Claveria, Philippines. *Agrofor Syst.* 2011 Sep 10;83(2):167-80. doi: 10.1007/s10457-011-9435-y
34. Carvalho DE, Da Rocha MP, Timofeiczuk Junior R, Klitzke RJ. Rendimento e variedade de produtos no desdobro de toras de *Eucalyptus* spp. *Tecno-Lógica.* 2019 Jan 3;23(1):8-13. doi: 10.17058/tecnolog.v23i1.12215
35. De Miranda DLC, Bernadino Junior V, Gouveia DM. Fator de forma e equações de volume para estimativa volumétrica de árvores em plantio de *Eucalyptus urograndis*. *Sci Plena.* 2015 Mar;11(3):1-8.
36. Oliveira JTS, Hellmeister JC, Simões JW, Tomazello Filho M. Caracterização da madeira de sete espécies de eucaliptos para a construção civil: 1-Avaliações dendrométricas das árvores. *Sci For.* 1999;(56):113-24.
37. Schröder T, Hoiço NAS, Zimmermann APL, Pereira LD, Rocha Junior DS, Meyer EA, et al. Métodos de estimativa de volume comercial para *Eucalyptus grandis*: especificidades e recomendações. *Pesqui Florest Bras.* 2013 Mar 31;33(73):1-7. doi: 10.4336/2013.pfb.33.73.446
38. Sereghetti GC, Lanças KP, Sartori MS, Rezende MA, Soler RR. Efeito do espaçamento no crescimento e na densidade básica da madeira de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em florestas de ciclo curto. *EnergAgric.* 2015 Nov 5;30(3):257. doi: 10.17224/EnergAgric.2015v30n3p257-262
39. Dos Santos MD, Jorge LAB, Mischan MM, Dos Santos AL, Ballarin AW. Avaliação da produção de biomassa do fuste de um clone híbrido de eucalipto sob diferentes espaçamentos. *Ci Fl.* 2017 Mar 31;27(1):31-45. doi: 10.5902/1980509826445
40. Spencer B, Bartle J, Abadi A, Gibberd M, Zerihun A. Planting configuration affects productivity, tree form and survival of mallee eucalypt in farm forestry plantings. *Agrofor Syst.* 2020 Sep 29;95(1):71-84. doi: 10.1007/s10457-020-00543-0
41. Aquino PSR, Eloi NM, Oliveira CRV, Luis SK, Basileu OLM. Effect of spacing on initial growth and production of eucalyptus in a systemic “fan-shaped” design. *FLORESTA.* 2021;51(1):99-108. doi: 10.5380/rf.v51i1.67390