



## Fatores que influenciam a forma das árvores de *Tectona grandis* L.f.

João Paulo Sardo MADI \*<sup>1</sup>, Gabriel Agostini ORSO <sup>1</sup>,  
Sebastião Rodrigo do Remédio Souza de OLIVEIRA <sup>1</sup>, John Paul McTague <sup>2</sup>,  
Allan Libanio PELISSARI <sup>1</sup>, Alexandre BEHLING <sup>1</sup>, Samuel de Pádua Chaves CARVALHO <sup>3</sup>,  
Julio Eduardo ARCE <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil.

<sup>2</sup> Southern Cross Biometrics LLC, Fernandina Beach, Flórida, Estados Unidos.

<sup>3</sup> Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, Brasil.

\*E-mail: joaosardomadi@gmail.com

Submetido em: 11/07/2024; Aceito em: 15/08/2024; Publicado em: 27/08/2024.

**RESUMO:** A forma das árvores é influenciada por condições locais, idade e por atividades silviculturais, principalmente em plantios de longa rotação, como no caso de árvores de *Tectona grandis*. Desta forma, objetivou-se com o presente estudo avaliar a forma das árvores mediante variáveis relacionadas ao povoamento e ao local para verificar a suas influências na forma das árvores de *T. grandis*. Os dados são provenientes de povoamentos com 19 anos de idade. Utilizou-se do fator de forma artificial ( $f$ ) para avaliar o comportamento da forma em função das seguintes variáveis: índice de espaçamento relativo, diâmetro médio quadrático, altura dominante e idade. Foi utilizado o algoritmo de Nelder-Mead em conjunto com a análise discriminante para avaliar os grupos formados. Por meio da análise, verificou-se que o maior valor dos coeficientes canônicos das funções foi relacionado ao índice de espaçamento relativo. Ao verificar a influência do desbaste, antes e após a sua aplicação, para as diferentes classes de  $f$ , foi observado maior ocorrência de árvores em plantios após a sua aplicação, presentes na classe I ( $< 0,45$ ) de  $f$ . O índice de espaçamento relativo apresentou maior influência na estratificação da variável  $f$ , o que coincidiu em árvores em áreas sob influência de desbaste.

**Palavras-chave:** desbaste; análise discriminante; Nelder-Mead; teca.

## Factors influencing the form of *Tectona grandis* L.F. trees

**ABSTRACT:** The form of trees is influenced by several factors, including local conditions, age, and silvicultural activities. This is particularly evident in long-rotation plantations, as exemplified by the case of *Tectona grandis* trees. Therefore, this study aimed to evaluate tree form using variables related to the stand and site to verify their influence on the form of *T. grandis* trees. The data comes from 19-year-old stands. The artificial form factor ( $f$ ) was used to evaluate the behavior of the form as a function of the following variables: relative spacing index, quadratic mean diameter, dominant height and age. The Nelder-Mead algorithm was used with discriminant analysis to evaluate the groups formed. The analysis indicated that the highest value of the canonical function coefficients was related to the relative spacing index. When verifying the influence of thinning, before and after its application, for the different classes of  $f$ , a greater occurrence of trees in plantations after its application was observed in class I ( $< 0.45$ ) of  $f$ . The relative spacing index showed a greater influence on the stratification of the variable  $f$ , which coincided with trees in areas under the influence of thinning.

**Keywords:** thinning; discriminant analysis; Nelder-Mead; teak.

### 1. INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa a posição de destaque no cenário internacional na atividade de reflorestamento, com área de aproximadamente 10 milhões de hectares, assumindo a segunda posição no ranking mundial, do qual a maior parte é composta por espécies do gênero *Eucalyptus* e *Pinus* (SILVA LOPES et al., 2022). Esses cultivos possuem as mais diversas finalidades, visando atender desde a indústria de papel, celulose e energia (como as espécies do gênero *Eucalyptus*) até a construção civil (como por exemplo a *Tectona grandis* L. f.) (GONÇALVES et al., 2008; PELISSARI et al., 2014).

A *T. grandis*, popularmente conhecida como teca, é uma espécie que ocorre naturalmente na Tailândia, Laos, Índia e Mianmar, amplamente cultivada em países da África e Ásia

Tropical (FERNÁNDEZ-SÓLIS et al., 2018; BERROCAL et al., 2020). A espécie é conhecida principalmente pela rusticidade, rápido crescimento em altura, fuste retilíneo, com grande estabilidade dimensional, elevada resistência mecânica, estética atrativa e pela resistência ao ataque de xilófagos (LEITE et al., 2011; MOYA et al., 2014).

No Brasil, o cultivo da *T. grandis* se deu inicialmente no município de Cáceres no estado de Mato Grosso, e atualmente ocupa cerca de 99 mil hectares, distribuídas nos estados do Acre, Goiás, Mato Grosso, Pará e Rondônia (SANTOS et al., 2023). A adaptação da espécie nessa região deu-se principalmente em função das condições bioedafoclimáticas locais, como fertilidade mediana, solos profundos, temperatura média superior a 22° C, precipitação

média anual acima de 1500 mm, com período de estação seca de 3 a 5 meses durante o ano (DRESCHER et al., 2014; HUY et al., 2022).

Apesar da adaptabilidade da espécie e do potencial econômico, as áreas ocupadas pela *T. grandis* no Brasil ainda são pequenas quando comparada com as áreas de *Pinus* e *Eucalyptus* (SOUZA et al., 2022). Diante disso, práticas silviculturais adequadas são imprescindíveis para o planejamento e o manejo florestal, sobretudo para espécies de ciclos longo, como a *T. grandis*, que necessita de intervenções periódicas ao longo do tempo com a finalidade de manter a sua produtividade constante.

Assim como as demais espécies florestais, o desenvolvimento e a morfometria da *T. grandis* dependem diretamente das condições edafoclimáticas locais e da densidade do povoamento, necessitando de avaliações periódicas a fim de determinar o período correto do desbaste e sua intensidade, visando reduzir a competição intraespecífica (PELLISSARI et al., 2013; MEDEIROS et al., 2017; DIONISIO et al., 2018).

Neste sentido, o comportamento da forma diante as condições supracitadas é uma das maneiras de verificar como as árvores estão respondendo às intervenções e às diferentes características dos locais dos plantios. Para isso, um dos métodos a ser utilizado é por meio do emprego do fator de forma (FINGER et al., 1995; LIMA; GARCIA, 2009; FILHO et al., 2015).

Esse fator é obtido por meio da razão entre o volume real pelo volume do cilindro, correspondente ao mesmo diâmetro e altura da árvore cubada (SCHRÖDER et al., 2013). Esse método possui a função de corrigir o efeito de conicidade apresentado ao longo do tronco, variando conforme a espécie, condições do local, tratamentos silviculturais aplicados e idade (THAINES et al., 2010; KOHLER et al., 2016).

Diante disso, objetivou-se com o presente estudo avaliar a forma das árvores mediante variáveis relacionadas ao povoamento e ao local, como densidade, sítio, idade e tamanho médio das árvores, para verificar a suas respectivas influências na forma das árvores de *T. grandis*. O estudo foi conduzido por meio das seguintes hipóteses: i) Por meio da análise discriminante é possível estratificar os fatores de forma mediante as variáveis utilizadas; ii) as variáveis

possuem diferentes graus de influência sobre a forma; iii) o desbaste influencia a forma das árvores de *T. grandis*.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Área de estudo e descrição dos dados experimentais

O estudo foi realizado em áreas na região sudoeste do estado de Mato Grosso, nos municípios de Porto Esperidião, Glória D'Oeste, Cáceres, Porto Estrela, Barra do Bugres e Tangará da Serra (Figura 1), em plantios clonais de *T. grandis* totalizando uma área de 1.711,03 ha. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região, onde estão inseridos os plantios, é do tipo Aw, com verão chuvoso e um período de seca no inverno (ALVARES et al., 2013). Nessa região há predominância de solos das ordens de Latossolo, Neossolo, Argissolo e Plintossolo (IBGE, 2023).

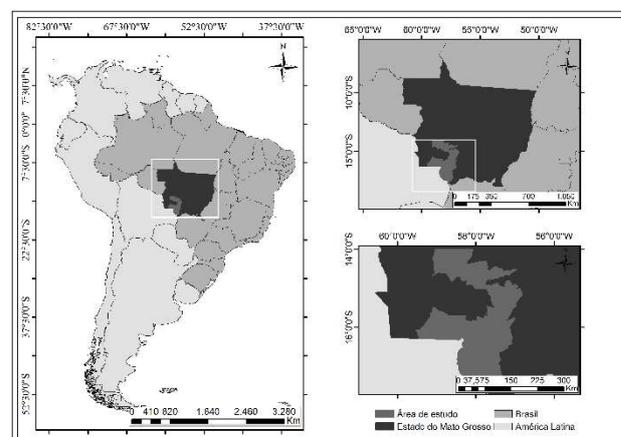


Figura 1. Localização da área de estudo dos povoamentos de *T. grandis*.

Figure 1. Location of the study area of *T. grandis* stands.

Os dados dos referidos povoamentos são provenientes de 318 parcelas permanentes, com remedições anuais e idade variando de 3 a 19 anos, e de cubagem de 890 árvores. As parcelas de inventário apresentam forma circular, com área variando de 359 m<sup>2</sup> a 2.400 m<sup>2</sup>, em que foram mensuradas variáveis diâmetro à altura do peito (d) e altura total (h). As estatísticas referentes aos dados das parcelas inventariadas estão presentes na Tabela 1.

Tabela 1. Resumo das estatísticas referentes as parcelas de inventário para as variáveis d, h, N, h<sub>dom</sub> e i.

Table 1. Summary of statistics relating to inventory plots for variables d, h, N, h<sub>dom</sub> and i.

Variáveis	Mínimo	Média	Máximo	SD	C.V.	N
d (cm)	2,50	22,50	57,30	10,12	0,45	24.984
h (m)	1,9	17,2	32,5	6,4	0,37	24.984
N (Arv./ha)	107	528	1140	310	0,59	318
h <sub>dom</sub> (m)	3,6	17,5	30,6	6,1	0,35	318
i (Anos)	3,0	8,30	19	4,6	0,55	318

em que: d = diâmetro à altura peito (1,3 m); h = altura total; N = número de árvores por hectare; h<sub>dom</sub> = altura dominante; i = idade; SD = desvio padrão; C. V. = coeficiente de variação.

Os dados de cubagem foram obtidos nas posições dos diâmetros com casca (d<sub>c</sub>) nas alturas (h<sub>i</sub>) 0,1 m, 0,5 m, 1,0 m, 1,3 m, 2,0 m e as medidas seguintes um metro em relação a medida subsequente. Os volumes das seções (v) foram calculados pelo método de Smalian, sendo que o topo do

fuste foi assumido como um cone. Desta forma, por meio do somatório de todas as seções de uma dada árvore, obteve-se o volume total (V). As estatísticas descritivas, bem como a frequência das árvores cubadas, estão presentes nas Tabelas 2 e 3 e na Figura 2.

Tabela 2. Resumo das estatísticas dos dados de cubagem neste estudo com a espécie *Tectona grandis*.Table 2. Summary of cubing data statistics in this study with the species *Tectona grandis*.

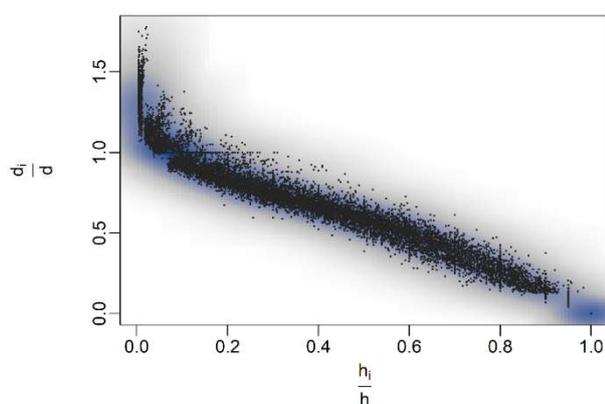
	N	Mínimo	Média	Máximo	SD
$d_i$ (cm)	15.089	0,95	17,78	74,15	10,23
$d$ (cm)	890	4,10	22,82	53,00	9,09
$h_i$ (m)	15.089	0,1	7,0	29,5	5,66
$h$ (m)	890	4,20	16,89	29,50	5,06
$v_c$ (m <sup>3</sup> )	15.089	0,0012	0,2718	2,1237	0,2894
$V$ (m <sup>3</sup> )	890	0,0038	0,3800	2,1237	0,3781

em que:  $d_i$  = diâmetro na seção  $i$ ;  $d$  = diâmetro à altura do peito;  $h_i$  = altura da seção  $i$ ;  $h$  = altura total;  $v_c$  = volume acumulado;  $V$  = volume total (m<sup>3</sup>);  $n$  = n° de observações.

Tabela 3. Frequência por classe diamétrica e altura das árvores de *T. grandis* amostradas.Table 3. Frequency by diameter class and height of *T. grandis* trees sampled.

$d$ (cm)	$h$ (m)										Total
	[4,0, 6,6)	[6,6, 9,2)	[9,2, 11,8)	[11,8, 14,4)	[14,4, 17,0)	[17,0, 19,6)	[19,6, 22,2)	[22,2, 24,8)	[24,8, 27,4)	[27,4, 30,0]	
[4,0, 8,9)	13	20									33
[8,9, 13,8)		38	56	14							108
[13,8, 18,7)			32	58	29	2					121
[18,7, 23,6)			2	21	137	127	5				292
[23,6, 28,5)					11	88	41	8			148
[28,5, 33,4)					3	6	42	21	9	1	82
[33,4, 38,3)							5	18	12	1	36
[38,3, 43,2)							3	14	13	6	36
[43,2, 48,1)								11	7	6	24
[48,1, 53,0]							1	1	6	2	10
Total	13	58	90	93	180	223	97	73	47	16	890

em que:  $d$  = diâmetro à 1,30 m (cm);  $h$  = altura total (m).

Figura 2. Relação  $d_i/d$  e  $h_i/h$  para os dados das árvores cubadas.Figure 2.  $d_i/d$  and  $h_i/h$  ratio for cubed tree data.

## 2.2. Estudo da forma de árvores de *T. grandis*

Inicialmente, foi realizada a estratificação do banco de dados considerando o fator de forma artificial ( $f$ ) (Equação 1), na qual utilizou a análise discriminante para realizar esta análise.

$$f = \frac{V_{obs}}{\pi \cdot d^2 \cdot h} \quad (01)$$

em que:  $V_{obs}$  = volume total observado (m<sup>3</sup>);  $d$  = diâmetro à altura do peito (cm);  $h$  = altura total (m).

Desta forma, as classes de  $f$  foram utilizadas como variável dependente em que as variáveis independentes foram o índice de espaçamento relativo independente da distância ( $RS_i$ ) (Equação 2), proposto por Wilson (1946); diâmetro médio quadrático ( $d_q$ ) (Equação 3); idade ( $i$ ); e altura dominante ( $h_{dom}$ ) (Equação. 4) calculada pelo método de

Assmann (1970). Os valores das variáveis reportam as médias por talhão, nas suas respectivas idades, de forma em que o banco de dados de cubagem forneceu as classes de  $f$  e a de inventário as variáveis relacionadas ao povoamento, totalizando 115 observações.

$$RS_i = \sqrt{\frac{10000}{N_i}} \quad (02)$$

$$d_q = \sqrt{\frac{40000 \cdot \bar{g}_i}{\pi}} \quad (03)$$

$$h_{dom} = \frac{\sum_{j=1}^n h_{dnij}}{n_n} \quad (04)$$

em que:  $RS_i$  = índice de espaçamento relativo independente da distância da parcela  $i$ ;  $N_i$  = número de plantas por hectare da parcela  $i$ ;  $\bar{g}_i$  = área transversal média da parcela  $i$  (m<sup>2</sup>);  $h_{domi}$  = altura dominante da parcela  $i$ ;  $h_{dnij}$  = altura da árvore de maior diâmetro  $j$  da parcela  $i$ ;  $n_n$  = número de árvores selecionadas por meio do critério de Assmann, o qual seleciona as árvores  $j$  de maior  $d$  na parcela  $i$  com base na relação das 100 árvores de maior diâmetro em 1 ha.

Foram estabelecidas três classes de  $f$ , definidas arbitrariamente, da forma em que ficassem em três classes igualmente espaçadas a fim de classificar as árvores. Após a classificação, foi realizada novamente a análise discriminante por meio do algoritmo de Nelder-Mead (NELDER; MEAD, 1965), utilizando o método do simplex, com o objetivo de minimizar o erro da matriz de confusão, e assim obter as classes de  $f$ .

Para avaliar a taxa de acerto da classificação das árvores em suas respectivas classes, utilizou-se da matriz de confusão, que consiste em verificar quantas observações foram classificadas corretamente dentro de sua própria classe e

quantas foram classificadas de forma errônea, ou seja, em outra classe.

Desta forma, após a classificação, por meio da análise discriminante, foi observado o valor dos coeficientes associados a cada variável independente, da forma que em módulo quanto maior o valor do coeficiente maior a sua influência na classificação. Assim, as variáveis que apresentaram os maiores valores dos coeficientes, indicaram maior influência sob a forma.

Após a obtenção das classes dos *f*, foi realizada a análise de cluster para verificar a possibilidade de agrupar as diferentes classes estabelecidas. Para isso, utilizou-se da linha de *phenon* (SOKAL; ROHLF, 1962). Segundo os autores esse ponto de corte da linha pode escolhido com base nos critérios do pesquisador, sendo assim foi selecionado uma linha de corte de 50% da distância euclidiana, baseado no estudo na área florestal de Albuquerque et al. (2015).

Posteriormente a obtenção das classes do *f*, foi verificada a ocorrência dos desbastes para as classes obtidas, a fim de verificar a sua influência, antes e após a sua aplicação. Para isso, verificou-se a porcentagem de árvores que já estavam sob influência do desbaste, para as classes obtidas de fator de forma. A aplicação do desbaste de uma forma geral é seletiva, sendo realizada inicialmente retirando a 5º linha do plantio, e é considerado um intervalo mínimo de dois anos entre a atividade em uma mesma área, ocorrendo em média de quatro a cinco anos entre eles.

### 3. RESULTADOS

Por meio da análise discriminante, utilizando o algoritmo de Nelder - Mead, foi obtido que a primeira função linear (LD1) explicou aproximadamente 94% da estratificação das classes dos fatores de forma, enquanto a segunda função apenas (6%) (Tabela 4).

Tabela 4. Coeficientes estimados dos parâmetros associados às variáveis à nível de povoamento utilizado na análise discriminante. Table 4. Estimated coefficients of the parameters associated with the population-level variables used in the discriminant analysis.

	RS	$h_{dom}$	$i$	$d_q$	P.T.
LD1	-6,3917	0,2486	-0,0242	-0,0188	0,94
LD2	-25,6086	-0,6870	0,1367	0,2757	0,06

em que: LD1 = função discriminante linear 1; LD2 = função discriminante linear 2; RS = Índice de espaçamento relativo;  $h_{dom}$  = altura dominante;  $i$  = idade;  $d_q$  = diâmetro médio quadrático; P.T. = Proporção do traço.

Ao avaliar o efeito da idade na forma das árvores, nota-se uma menor influência quando comparado com as variáveis altura dominante e ao índice de espaçamento relativo. De maneira análoga a idade, o diâmetro médio quadrático apresentou uma menor influência na forma das árvores em relação à altura dominante e ao índice de espaçamento relativo.

Por meio da matriz de confusão, obtida a partir da análise discriminante com a utilização do algoritmo de Nelder-Mead (Tabela 5), foi obtida uma maior taxa de acerto na classe I do fator de forma, seguido pela classe II e a maior taxa de erro ficou associada a classe III. Vale ressaltar que a classe III possui um menor número de observações e, desta forma, qualquer erro de classificação gera uma maior mudança na taxa de acerto ou de erro no momento da classificação.

Na Figura 3, observa-se a ocorrência de três grupos de fator de forma. A partir dessa estratificação, verificou a

possibilidade de simplificar em menor quantidade de classes de fator de forma por meio da análise de cluster, para isso utilizou-se a linha de *phenon* a 50% da distância euclidiana. Desta forma, obteve-se que as classes II e III de fatores de forma apresentam similaridades, possibilitando o agrupamento de ambas as classes.

Tabela 5. Matriz de confusão para as classes de fator de forma para árvores de *Tectona grandis*.

Table 5. Confusion matrix for form factor classes for *Tectona grandis* trees.

Predito	Real		
	<i>f</i> - I	<i>f</i> - II	<i>f</i> - III
<i>f</i> - I	85	6	-
<i>f</i> - II	4	17	1
<i>f</i> - III	-	1	1
Erro (%)	4,49	29,17	50%

em que: *f*- I = classe de fator de forma I; *f*- II = Classe de fator de forma II; *f*- III = classe de fator de forma III.

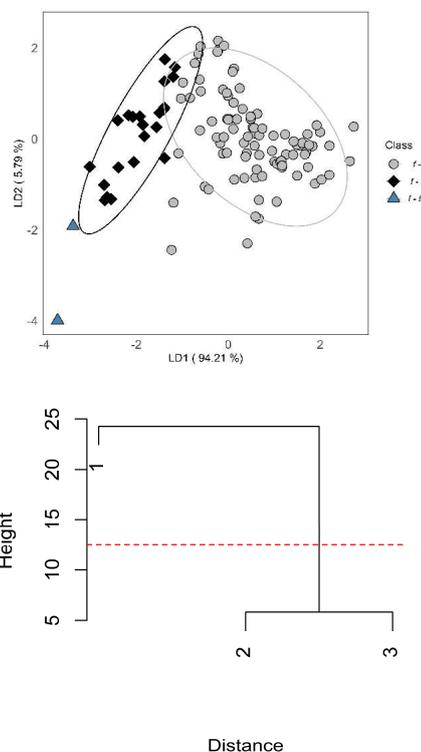


Figura 3. Análise discriminante e de Cluster para os grupos de fator de forma.

Figure 3. Discriminant and Cluster analysis for form factor groups.

Os valores resultantes dos limites das classes dos fatores de forma se encontram na Tabela 6. Observa-se a notável diferença nas médias das variáveis da classe I para outras duas classes. A primeira classe de *f* apresenta um índice de espaçamento relativo menor em relação às outras duas classes. O menor valor do RS da classe I, indicaria uma densidade maior, porém o índice sofre influência da altura dominante (Eq. 2), sendo que na mesma classe, a variável  $h_{dom}$  possui valor superior em relação às outras duas classes, além de apresentar um maior valor médio para idade e diâmetro médio quadrático, por estarem em um estágio mais avançado de crescimento. Desta forma, Apesar do menor valor da variável RS na classe I, a densidade do povoamento em condição de desbaste é menor, o que seria um indicativo

da influência da atividade sob a forma das árvores de *T. grandis*, o que é visualizado na classe I de  $f$ , em que constata um maior número de árvores sob influência do desbaste.

Ao verificar a influência do desbaste, antes (classes II e III) e após (classe I) a sua aplicação para as diferentes classes

do fator de forma, foi observado uma maior ocorrência de árvores em povoamentos sob influência de tal atividade na classe I de  $f$ , pois a atividade simula uma condição de crescimento aberto.

Tabela 6. Média das variáveis para e a quantidade de árvores desbastadas e não desbastadas por grupo de Fator de Forma.  
Table 6. Average of the variables for the number of thinned and non-thinned trees per form Factor group.

	Grupo Cluster	Intervalo	RS	$h_{dom}$	$i$	$d_q$	Desbastadas	Não Desbastadas
$f$ - I	1	[0 - 0,45)	0,28	20,68	10,42	26,85	562 (81,21%)	130 (18,79%)
$f$ - II	2	[0,45-0,55)	0,32	11,46	3,92	12,12	15 (7,57%)	183 (92,43%)
$f$ - III		[>0,55]	0,42	8,27	3,00	7,34		

em que:  $f$ - I = Classe de Fator de Forma I;  $f$ - II = Classe de Fator de Forma II;  $f$ - III = Classe de Fator de Forma III; RS = Índice de espaçamento relativo;  $h_{dom}$  = altura dominante;  $i$  = idade;  $d_q$  = diâmetro médio quadrático.

#### 4. DISCUSSÃO

O fator de forma é influenciado por características do povoamento e das árvores, além do sítio (LARSON, 1963; JIANG; LIU, 2011; CHAPAGAIN; SHARMA, 2021). Na tabela 4, foi observado a influência do RS e da  $h_{dom}$  na forma. Estas variáveis afetam a forma, pois exercem influências na competição entre as árvores pelos recursos do crescimento (CHAPAGAIN; SHARMA, 2021). Assim, segundo Baral et al. (2020), o fator de forma tende a aumentar até certo ponto, em que começa a decrescer com o aumento do diâmetro e a altura, o que foi observado no presente estudo. Já a idade e o  $d_q$  afeta em menor intensidade a forma dos indivíduos do povoamento, quando comparada ao índice de espaçamento relativo.

Assim, há um indicativo de que o grau adensamento do plantio e a capacidade produtiva do local afetam a forma das árvores. O estudo realizado por Sanquetta et al. (2020), com *Acacia mearnsii*, evidenciou a melhora na representação da forma do fuste com a adição de variáveis auxiliares, sendo que uma destas foi índice de espaçamento relativo, demonstrando a influência da densidade do povoamento na forma do fuste.

Na Tabela 6 é verificado uma maior quantidade de árvores sob influência de desbastes na classe I de  $f$ , o que corrobora com o maior valor do parâmetro estimado associado à variável RS na análise discriminante, uma vez que é diretamente influenciado pelo desbaste. Em contrapartida, as árvores pertencentes as classes II e III apresentaram apenas 7,57% de árvores pertencentes à povoamentos em situações que ocorreram o desbaste. Assim, os talhões que já sofreram desbaste (Tabela 6) se encontram em maior parte na classe I de fator de forma ao contrário das outras classes, que concentram principalmente talhões em um estágio com ausência da atividade.

Desta forma, o desbaste promove uma alteração na forma do fuste, que em povoamentos desbastados possuem árvores com um maior afilamento do que aqueles não desbastados, como identificado nos estudos de Jiang e Liu (2011) e Newnham (1965). Desta forma, a atividade simula o crescimento aberto, ou seja, mantém o povoamento em menores densidades (LARSON, 1963).

Essa influência do desbaste pode ser explicada por alguns fatores, como árvores conduzidas sob menores densidade possuem copas mais longas (FERREIRA et al., 2014), o que acarreta maior afilamento do fuste, pois na posição da copa, há maior taxa de decréscimo do diâmetro (LARSON, 1963). Além do comprimento da copa, pode-se mencionar que o número de ramificações oriundas da copa apresenta

influência na forma das árvores, como constatado por Adu-Bredu et al. (2008) em seu estudo com *T. grandis*.

Segundo Mäkinen et al. (2002) e Sharma; Zhang (2004), árvores que estão se desenvolvendo em menores densidades possuem o diâmetro à altura do peito e afilamento superiores as árvores em condições de maiores densidades. De acordo com Jiang; Liu (2011), faz com que os volumes nas seções superiores, das árvores conduzidas em menores densidades, sejam menores.

Assim, independente da classe que as árvores possuem, o desbaste irá aumentar o crescimento ao longo do terço inferior do fuste, enquanto não mais do que um menor aumento no meio do caule ou até mesmo um maior decréscimo do fuste (IKONEN et al., 2006).

Por consequência, atividades silviculturais que afetam a forma das árvores devem ser avaliadas em suas formas de aplicação, pois atividades como o desbaste simula condições de crescimento livre, o que faz com que a forma diminua, e já a poda, ao contrário do desbaste, simula um crescimento de povoamento adensado, o que acarreta o aumento do fator de forma, pois segundo Larson (1963) a atividade de poda faz com que o crescimento em diâmetro se desloca para a parte superior do fuste pela nova posição da copa.

#### 5. CONCLUSÕES

A partir da análise discriminante foi possível estratificar o fator de forma mediante as variáveis RS,  $h_{dom}$ ,  $i$  e  $d_q$ .

O índice de espaçamento relativo (RS) seguido da  $h_{dom}$  são os que apresentam maior influência na estratificação da variável fator de forma ( $f$ ), dado os seus coeficientes obtidos na análise discriminante. Assim a densidade do povoamento associado à altura dominante que constam no cálculo do RS, são as variáveis que explicam melhor a forma das árvores de *T. grandis*.

Desta forma, com os resultados obtidos nesse presente estudo, indica-se que povoamentos quando estão em menor densidade possuem um fator de forma menor em relação àqueles em maior densidade.

Essa conclusão corrobora quando avalia-se a influência do desbaste na forma das árvores de *T. grandis*, o qual é verificado pelo valor do coeficiente associado à variável RS, antes e após a ocorrência da atividade, para as diferentes classes de fator de forma.

#### 6. REFERÊNCIAS

ADU-BREDU, S.; BI, A. F. T.; BOUILLET, J. P.; MÉ, M. K.; KYEI, S. Y.; SAINT-ANDRÉ, L. An explicit stem

- profile model for forked and un-forked teak (*Tectona grandis*) trees in West Africa. **Forest Ecology and Management**, v. 255, n. 7, p. 2189-2203, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.12.052>
- ALBUQUERQUE, J. M.; WATZLAWICK, L. F.; KOEHLER, H. S.; LONGHI, S. J. Análise de agrupamento florístico de Floresta Ombrófila Mista em Sistema Faxinal. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 8, n. 3, p. 27-36, 2015.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- BARAL, S.; NEUMANN, M.; BASNYAT, B.; GAULI, K.; GAUTAM, S.; BHANDARI, S. K.; VACIK, H. Form factors of an economically valuable sal tree (*Shorea robusta*) of Nepal. **Forests**, v. 11, n. 7, E754, 2020. <https://doi.org/10.3390/f11070754>
- BERROCAL, A.; GAITAN-ALVAREZ, J.; MOYA, R.; FERNÁNDEZ-SÓLIS, D.; ORTIZ-MALAVASSI, E. Development of heartwood, sapwood, bark, pith and specific gravity of teak (*Tectona grandis*) in fast-growing plantations in Costa Rica. **Journal of Forestry Research**, v. 31, n. 2, p. 667-676, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11676-018-0849-5>
- CHAPAGAIN, T. R.; SHARMA, R. P. Modeling form factors for sal (*Shorea robusta* Gaertn.) using tree and stand measures, and random effects. **Forest Ecology and Management**, v. 482, e118807, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118807>
- DA SILVA LOPES, J.; KIPERSTOK, A.; de FIGUEIRÊDO, M. C. B.; de ALMEIDA NETO, J. A.; RODRIGUES, L. B. Assessing the economic and environmental performance of cleaner production practices in eucalyptus planted forests using life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, v.3 80, e134757, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134757>
- DIONISIO, L. F. S.; de ARAÚJO, H. X.; CORREIA, R. G.; MARTINS, W. B. R.; DA COSTA, J. S.; MACIEL, F. C. da S. Influência do primeiro desbaste na morfometria de *Tectona grandis* L.f. em Roraima. **Floresta e Ambiente**, v. 5, n. 1, e118214, 2018. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.118214>
- DRESCHER, R.; GAVA, F. H.; PELISSARI, A. L.; ACOSTA, F. C.; SILVA, V. S M. Equações volumétricas para *Tectona grandis* Linn F. em povoamentos jovens no estado de Mato Grosso. **Advances in Forestry Science**, v. 1, n. 2, p. 65-70, 2014.
- FERNÁNDEZ-SÓLIS, D.; BERROCAL, A.; MOYA, R. Heartwood formation and prediction of heartwood parameters in *Tectona grandis* L.f. trees growing in forest plantations in Costa Rica. **Bois et Forêts Des Tropiques**, v. 335, p. 25-37, 2018. <https://doi.org/10.19182/bft2018.335.a31499>
- FERREIRA, G. W. D.; FILHO, A. C. F.; PINTO, A. L. R.; SCOLFORO, J. R. S. Influência do desbaste na forma do fuste de povoamentos naturais de *Eremanthus incanus* (Less.) Less. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 4, p. 1707-1720, 2014. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n4p1707>
- FILHO, A. F.; RETSLAFF, F. A. de S.; KOHLER, S. V.; BECKER, M.; BRANDES, D. Efeito da idade no afilamento e sortimento em povoamentos de *Araucaria angustifolia*. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 1, p. 50-59, 2015. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.080114>
- FINGER, C. A. G.; ZANON, M. L. B.; SCHNEIDER, P. R.; KLEIN, J. E. M.; COELHO, M. C. B. Funções de forma para *Eucalyptus dunnii* Maiden implantados na depressão central e encosta do sudeste do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 5, n. 3, p. 399-403, 1995. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/S0103-84781995000300012>
- GONÇALVES, J. L. de M.; STAPE, J. L.; LACLAU, J. P.; BOUILLET, J. P.; RANGER, J. Assessing the effects of early silvicultural management on long-term site productivity of fast-growing eucalypt plantations: The Brazilian experience. **Southern Forests**, v. 70, n. 2, p. 105-118, 2008. <https://doi.org/10.2989/SOUTH.FOR.2008.70.2.6.534>
- HUY, B.; TRUONG, N. Q.; KHIEM, N. Q.; POUDEL, K. P.; TEMESGEN, H. Stand growth modeling system for planted teak (*Tectona grandis* L.f.) in tropical highlands. **Trees, Forests and People**, v. 9, e100308, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2022.100308>
- IIBGE\_Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Banco de Informações Ambientais**. 2023. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/pedologia>
- IKONEN, V. P.; KELLOMÄKI, S.; VÄISÄNEN, H.; PELTOLA, H. Modelling the distribution of diameter growth along the stem in Scots pine. **Trees - Structure and Function**, v. 20, n. 3, p. 391-402, 2006. <https://doi.org/10.1007/s00468-006-0053-7>
- JIANG, L. C.; LIU, R. L. Segmented taper equations with crown ratio and stand density for Dahurian Larch (*Larix gmelinii*) in Northeastern China. **Journal of Forestry Research**, v. 22, n. 3, p. 347-352, 2011. <https://doi.org/10.1007/s11676-011-0178-4>
- KOHLER, S. V.; KOEHLER, H. S.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARCE, J. E.; MACHADO, S. DO A. Evolução do afilamento do tronco em povoamentos de *Pinus taeda*. **Ciencia Rural**, v. 46, n. 7, p. 1185-1191, 2016. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20140021>
- LARSON, P. R. Stem form development of forest trees. **Forest Science**, v. 9, n. suppl\_2, e0001-42, 1963.
- LEITE, H. G.; OLIVEIRA-NETO, R. R.; de MONTE, M. A.; FARDIN, L.; ALCANTARA, A. M. DE; BINOTI, M. L. M. DA S.; CASTRO, R. V. O. Taper models of heartwood of *Tectona grandis* L.f. **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 89, p. 53-59, 2011.
- LIMA, I. L. de; GARCIA, J. N. Efeito do desbaste e da fertilização na porcentagem de casca e conicidade de toras de *Eucalyptus grandis*. **Floresta**, v. 41, n. 2, p. 305-312, 2009.
- MÄKINEN, H.; NÖJD, P.; ISOMÄKI, A. Radial, height and volume increment variation in *Picea abies* (L.) Karst. Stands with varying thinning intensities. **Scandinavian Journal of Forest Research**, v. 17, n. 4, p. 304-316, 2002. <https://doi.org/10.1080/02827580260138062>
- MEDEIROS, R. A.; DE PAIVA, H. N.; LEITE, H. G.; SALLES, T. T.; ARAÚJO, C. A.; DÁVILA, F. S. Idade técnica do primeiro desbaste de povoamentos de teca em diferentes espaçamentos. **Scientia Forestalis**, v. 45, n. 116, p. 705-716, 2017. <https://doi.org/10.18671/scifor.v45n116.11>
- MOYA, R.; BOND, B.; QUESADA, H. A review of heartwood properties of *Tectona grandis* trees from fast-growth plantations. **Wood Science and Technology**, v.

- 48, n. 2, p. 411-433, 2014. <https://doi.org/10.1007/s00226-014-0618-3>
- NELDER, J. A.; MEAD, R. A simplex method for function minimization. **The Computer Journal**, v. 7, n. 4, p. 308-313, 1965.
- NEWNHAM, R. M. Stem Form and the Variation of Taper with Age and Thinning Régime. **Forestry**, v. 38, n. 2, p. 218-224, 1965.
- PELISSARI, A. L.; CALDEIRA, S. F.; DRESCHER, R. Desenvolvimento quantitativo e qualitativo de *Tectona grandis* L.f. em Mato Grosso. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 3, p. 371-383, 2013. <https://doi.org/10.4322/foram.2013.027>
- PELISSARI, A. L.; GUIMARÃES, P. P.; BEHLING, A.; EBLING, A. A. Cultivo da teca: características da espécie para implantação e condução de povoamentos florestais. **Agrarian Academy**, v. 1, n. 1, p. 127-145, 2014.
- SANQUETTA, M. N. I.; MCTAGUE, J. P.; SCOLFORO, H. F.; BEHLING, A.; SANQUETTA, C. R.; SCHMIDT, L. N. What factors should be accounted for when developing a generalized taper function for black wattle trees? **Canadian Journal of Forest Research**, v. 50, n. 11, p. 1113-1123, 2020. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2020-0163>
- SANTOS, M. L. dos; MIGUEL, E. P.; BIALI, L. J.; SOUZA, H. J. de; SANTOS, C. R. C. dos; MATRICARDI, E. A. T. The Effect of Age on the Evolution of the Stem Profile and Heartwood Proportion of Teak Clonal Trees in the Brazilian Amazon. **Forests**, v. 14, n. 10, e1962, 2023. <https://doi.org/10.3390/f14101962>
- SCHRÖDER, T.; HOFIÇO, N. A. S.; ZIMMERMANN, A. P. L.; PEREIRA, L. D.; ROCHA JUNIOR, D. S.; MEYER, E. A.; FLEIG, F. D. Métodos de estimativa de volume comercial para *Eucalyptus grandis*: especificidades e recomendações. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 33, n. 73, p. 1-7, 2013. <https://doi.org/10.4336/2013.pfb.33.73.446>
- SHARMA, M.; ZHANG, S. Y. Variable-exponent taper equations for jack pine, black spruce, and balsam fir in eastern Canada. **Forest Ecology and Management**, v. 198, n. 1-3, p. 39-53, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.03.035>
- SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. The comparison of dendrograms by objective methods. **Taxon**, v. 11, n. 2, p. 33-40, 1962.
- SOUZA, H. J. de; MIGUEL, E. P.; NASCIMENTO, R. G. M.; CABACINHA, C. D.; REZENDE, A. V.; SANTOS, M. L. dos. Thinning-response modifier term in growth models: An application on clonal *Tectona grandis* Linn F. stands at the Amazonian region. **Forest Ecology and Management**, v. 511, e120109, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120109>
- THAINES, F.; BRAZ, E. M.; MATTOS, P. P. de; THAINES, A. A. R. Equações para estimativa de volume de madeira para a região da bacia do Rio Ituxi, Lábrea, AM. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 64, p. 283-289. <https://doi.org/10.4336/2010.pfb.30.64.283>

**Agradecimentos:** Os autores agradecem a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pelo suporte financeiro para o desenvolvimento da pesquisa.

**Contribuição dos autores:** J.P.S.M.: conceitualização, metodologia, investigação ou coleta de dados, análise estatística, redação (original), redação (revisão e edição); G. A. O.: conceitualização, metodologia, investigação ou coleta de dados, análise estatística; S.R.R.S.O.: conceitualização, metodologia, investigação ou coleta de dados, análise estatística; J.P.M.: conceitualização, metodologia, redação (revisão); A.L.P.: conceitualização, metodologia, redação (revisão); A. B.: conceitualização, metodologia, redação (revisão); S.P.C.C.: conceitualização, metodologia, redação (revisão); J.E.A.: conceitualização, metodologia, redação (revisão).

**Conflito de interesses:** Os autores declaram não haver conflito de interesses.