

INFLUÊNCIA DA POSIÇÃO SOCIAL NAS RELAÇÕES MORFOMÉTRICAS DE *Araucaria angustifolia*INFLUENCE OF SOCIAL POSITION ON THE MORPHOMETRICS RELATIONS IN *Araucaria angustifolia*Emanuel Arnoni Costa¹ César Augusto Guimarães Finger² Frederico Dimas Fleig³**RESUMO**

As relações morfométricas permitem descrever dimensões das árvores sem o prévio conhecimento da idade, auxilia no planejamento florestal e na execução de atividades silviculturais, principalmente quando se deseja tornar sustentável o uso das florestas. Com esse propósito, o objetivo do presente estudo foi modelar e comparar as relações morfométricas de árvores de araucária que crescem em posição social dominante, codominante e dominada em remanescente florestal nativo, localizado no município de Lages - SC. Um total de 294 árvores distribuídas em classes de DAP foi selecionado intencionalmente no interior da floresta. De cada árvore foi medido o DAP, altura total, altura do fuste, diâmetro de copa sob oito raios, bem como a classificação quanto à posição social. Modelos de regressão linear simples e múltipla foram empregados para descrever a relação h/d, proporção de copa e formal de copa em função do diâmetro a altura do peito na forma simples, quadrática, cúbica, inversa e logarítmica. A análise de covariância com variáveis *dummy* para descrever a posição social foram usadas para testar o paralelismo e inclinação das regressões indicando a necessidade ou não do emprego de regressões independentes. Os resultados indicaram que, mesmo com grande variabilidade na forma e dimensão das copas decorrente do processo de crescimento e de competição, as relações morfométricas de araucária podem ser estimadas com precisão por modelos de regressão. A relação h/d, proporção de copa e formal de copa pode ser descrita por modelo individual para posição social dominante, codominante e dominada, ou alternativamente por modelo único, com a utilização de variáveis *dummy* que diferenciam o estrato dominado no modelo de relação h/d e de formal de copa. Para a proporção de copa existe diferença de dimensões das árvores dos três estratos sociais, sendo necessário utilizar uma variável de classificação *dummy* para cada caso ou os modelos individuais.

Palavras-chave: modelagem; paralelismo; inclinação; relações interdimensionais.

ABSTRACT

The morphometric relations allow describing dimensions of trees without prior knowledge of the age, it help the forest planning and implementation of silvicultural treatments, especially when needs to make sustainable use of forests. For this purpose, the aim of this study was to model and comparing the morphometric relations araucaria trees in social position dominant, codominant and dominated in native forest remnant, located in Lages, SC. A total of 294 trees distributed in dbh classes were intentionally selected inside of forest. In each tree was measured dbh, total height, bole height, crown diameter by eight radius, as well as the classification of social position. Simple and multiple linear regression models were used to describe the relation h/d, the proportion of the crown and formal crown in function of diameter at breast height with simple transformation, quadratic, cubic, inverse and logarithmic form. The analysis of covariance with dummy variables were used to describe the social position and tested the parallelism and slope of regression indicating need or not of the use independent regressions. The results indicated that even with great variability in the shape and size of the crown due to growth and competition process, the morphometric relations of araucaria can be accurately estimated by regression models. The relation h/d, proportion of the crown and formal crown can be described by individual model for social position dominant, codominant and dominant, or alternatively a single model with the use of dummy variables that

1 Engenheiro Florestal, Doutor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, CEP 97105-900, Santa Maria (RS), Brasil. emanuelarmonicost@hotmail.com

2 Engenheiro Florestal, Dr., Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, CEP 97105-900, Santa Maria (RS), Brasil. cesarfinger.ufsm@outlook.com

3 Engenheiro Florestal, Dr., Professor Associado do Departamento de Ciências Florestais, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, CEP 97105-900, Santa Maria (RS), Brasil. dimasfleig@uol.com.br

Recebido para publicação em 11/02/2013 e aceito em 7/03/2014

differentiate trees group dominated for the relation h/d and formal crown. The proportion of crown presented difference in dimensions of the trees, being necessary to use dummy variable for each social stratus or use the individual models.

Keywords: modeling; parallelism; inclination; interdimensional relations.

INTRODUÇÃO

As características e relações interdimensionais de árvores individuais relacionam-se diretamente com a produtividade e são consideradas importantes descritores em modelos de crescimento (COLE e LORIMER, 1994; MONSERUD e STERBA, 1996; PUKKALA et al., 2009; CUNHA et al., 2013). Não apenas o estudo da morfometria, no sentido estático, mas também a dinâmica das formas das árvores é considerada imprescindíveis para aprimorar as intervenções silviculturais, de modo especial, quando se busca tornar efetiva a utilização de espécies da flora nativa em reflorestamentos (ROMAN et al., 2009).

Modelar fatores que influenciam o crescimento de árvores, refletidos na variação do tamanho e forma, permite definir estratégias para o manejo dos recursos florestais. Em nível de árvores individuais, possibilita inferir sobre cada uma especificamente, aplicando-se diretamente em florestas e povoamentos inequidistantes, em árvores em posição sociais distintas, pois, fornece, principalmente, informações sobre o espaço vital adequado à dimensão da árvore.

Os primeiros estudos sobre a dimensão da copa e suas relações se devem a Burger (1939), seguidos das contribuições de Assmann (1970), Mitscherlich (1978), Hasenauer e Monserud (1996) e Hasenauer (1997) que as empregaram para descrever o crescimento de espécies de clima temperado. No Brasil destacam-se os estudos de Durlo (1996), Durlo e Denardi (1998), Durlo (2001), Durlo et al. (2004), Mattos (2007) e Roman et al. (2009) que procuraram avaliar a área de projeção horizontal copa, proporção de copa, formal de copa, a relação h/d, índice de abrangência, índice de saliência, manto de copa e o volume de copa de algumas espécies florestais em mata secundária no Rio Grande do Sul.

Entre as relações morfométricas da copa, a área da projeção horizontal tem grande aplicação no monitoramento das florestas segundo Bechtold (2003), Russell e Weiskittel (2011), McIntosh et al. (2012), descrevendo além da zona de influência das copas (sobreposição), o grau de concorrência da árvore (GILL et al., 2000; GETZIN et al., 2008).

A relação entre as dimensões da copa exposta à luz e a altura dominante foram investigadas em povoamentos de *Pinus taeda* L. no sul do Brasil (PADOIN e FINGER, 2010), e na elaboração de um sistema de curvas guias para expressar o número potencial de árvores por hectare que o povoamento poderá manter em função da altura dominante, permitindo auxiliar na determinação dos desbastes (WEBER et al., 2013).

Em araucária, embora os estudos realizados por Nutto (2001) e Nutto e Spathelf (2003), a variação no tamanho e forma da copa de árvores ainda não foi determinada, sendo o objetivo do presente estudo modelar e comparar relações morfométricas de árvores que crescem em posição social dominante, codominante e dominada.

MATERIAL E MÉTODO

Área de estudo

A floresta estudada localiza-se em propriedade particular com 84 hectares de floresta nativa, no município de Lages - SC (27°48'S e 50°19'O). O clima da região é mesotérmico úmido (1360 mm a 1600 mm) sem estação seca definida (Cfb), com temperatura média anual entre 13,8°C a 15,8°C e umidade relativa de 80% (EPAGRI, 2002). Os solos predominantes na região são nitossolos háplicos e cambissolos húmicos, desenvolvidos a partir de rochas basálticas (EMBRAPA, 1999).

Levantamento dos dados

Um total de 294 árvores distribuídas nas classes de diâmetro previamente estabelecidas por Hess et al. (2010) foram selecionadas intencionalmente no interior da floresta nativa. Cada árvore teve medido o diâmetro a altura do peito (DAP), altura total (h), altura do fuste (hf), definida como a altura do nível do solo à inserção da copa viva; oito raios de projeção de copa (r_{copa}) na direção dos pontos cardeais: norte (N), nordeste (NO), leste (L), sudeste (SE), sul (S), sudoeste (SO), oeste (O) e noroeste (NO) e, por fim, foram classificadas quanto à posição social (PS).

O DAP foi medido com fita diamétrica, as alturas (h) com o hipsômetro Vertex IV e oito raios

de copa a partir do eixo central da árvore, ao nível do DAP. O diâmetro de copa (dc) foi determinado dobrando o valor do raio médio da copa (média aritmética do r_{copa}). O comprimento de copa (cc) foi obtido pela diferença entre a h e hf.

Para definir a posição social foi considerado o critério silvicultural, avaliando-se a posição da árvore no estrato vertical na floresta, a presença de árvores vizinhas competidoras, e o respectivo grau de exposição da copa à luz, que consistiu em: PS1- árvore dominante: ocupava o estrato superior com alta exposição da copa à luz; PS2 - árvore codominante: ocupava o estrato intermediário com média exposição da copa à luz; PS3 - árvore dominada - posicionada no estrato inferior com baixa exposição da copa à luz solar (COSTA et al., 2013).

Análise dos dados

Os dados foram processados no sistema SAS V. 9.1 (SAS INSTITUTE INC., 2004). As relações interdimensionais: relação (h/d), proporção de copa $P_c = (cc/h \cdot 100)$ e forma de copa $F_c = (dc/cc)$ foram modeladas pelo procedimento *stepwise* sendo a variável independente o DAP na forma simples, quadrática, cúbica, inversa e logarítmica (d, d², d³, 1/d, 1/d², 1/d³, ln(d), ln²(d)). As dimensões das árvores avaliadas por posição social encontram-se na Tabela 1.

Na seleção dos modelos foi considerado o coeficiente de determinação ajustado (R²aj.), erro padrão da estimativa em porcentagem (Syx%) e significância do valor de F da análise de variância (Sig. F) a um nível de ($\alpha = 5\%$).

Análise de covariância e regressão com variáveis *dummy*

A influência da posição social nas relações morfométricas quanto ao nível e inclinação das regressões foi avaliada mediante a análise de covariância e a regressão com variável *dummy*. A partir da seleção de uma equação comum para as três posições sociais foram empregadas variáveis *dummy* (D1 - representando as árvores de classe social codominante e D2 - para as dominadas) permitindo expressar os modelos individuais conforme definido por Schneider et al. (2009).

Na análise de covariância foi considerado o procedimento GLM e a soma de quadrados do tipo III que fornece a informação mais adequada para dados não balanceados (FREUND e LITTEL, 1981; COIMBRA et al., 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Modelagem das relações morfométricas

A construção de modelos de regressão para as variáveis morfométricas em função do diâmetro forneceu equações individuais que descreveram as mudanças morfológicas da araucária, segundo a posição social (Tabela 2). A variação encontrada nos valores de R²aj. e Syx% está associada à forma e dimensões das árvores amostradas na floresta, porém, todas as equações dentro das posições sociais foram significantes, confirmando a dependência da variável dependente em relação ao DAP.

TABELA 1: Características morfométricas para araucária.

TABLE 1: Morphometric characteristics for araucaria.

Variável	PS	n	Máximo	Média	Mínimo	CV%
d	PS1	193	85,8	47,8	14,7	32,0
	PS2	40	58,9	36,1	9,9	33,9
	PS3	61	49,5	28,2	10,2	37,4
	T	294	85,8	42,1	9,9	38,5
h	PS1	193	24,9	18,1	9,1	18,5
	PS2	40	21,2	16,1	7,2	22,6
	PS3	61	19,6	14,5	8,0	19,5
	T	294	24,9	17,1	7,2	21,0
hf	PS1	193	19,1	12,8	3,0	32,5
	PS2	40	17,8	11,8	3,8	34,8
	PS3	61	15,9	10,7	3,3	30,3
	T	294	19,1	12,2	3,0	33,2
dc	PS1	193	22,3	11,0	3,6	33,3
	PS2	40	13,4	8,0	3,0	33,6
	PS3	61	13,0	7,1	1,1	40,9
	T	294	22,3	9,8	1,1	38,7

Em que: d = diâmetro a altura do peito, em cm; h = altura total, em m; hf = altura do fuste, em m; dc = diâmetro de copa, em m; PS = posição sociológica: 1 = dominante, 2 = codominante, 3 = dominada, T = total das árvores sem considerar a posição social; n = número de indivíduos.

Relação altura e diâmetro - h/d

As equações individuais da relação h/d para qualquer posição social mostrou R²aj. variando de 0,602 - 0,690 e dispersão expressa pelo Syx% entre 12,6 - 16,9% (Tabela 2).

A comparação das regressões entre as posições sociais mediante análise de covariância revelou haver diferença estatística entre níveis - D2 (Pr.<0,0001) e inclinações - ln(d)*D2 (Pr.<0,0001) das regressões de árvores dominadas em relação às dominantes. A mesma comparação em árvores codominantes não mostrou diferença significativa em nível - D1 (Pr.=0,6761) e inclinação - ln(d)*D1 (Pr.=0,7331), evidenciando que a relação h/d das árvores dominantes e codominantes apresenta o mesmo desenvolvimento, existindo diferença destas somente em relação à da posição social dominada.

$$\hat{h/d} = 129,2796 - 23,3017 \ln(d) + 42,6055(D2) - 11,9955(\ln(d)D2) \quad (10)$$

Em que: = relação h/d; d = diâmetro a altura do peito, em cm; D2 = variável *dummy* para árvores dominadas (PS3).

A inclusão de variável *dummy* (D2) para descrever o efeito da posição social dominada - equação 10 - elevou o valor de R²aj. para 0,742, mantendo-se o Syx% em 15,5%, semelhante aos encontrados nas regressões individuais (Tabela 2).

O modelo de regressão 10 com variável *dummy* elevou o valor do intercepto em 42,6055 indicando que árvores dominadas de classe diamétrica inferior a 35 cm tendem a apresentar maior valor de h/d (Tabela 3). Nessa condição, as árvores tiveram menor afilamento quando associadas às posições sociais dominante e codominante. O coeficiente de inclinação (-11,9955) representado pela interação (ln(d).D2) trouxe maior redução de h/d evidenciando que árvores dominadas com maiores DAP tendem ser mais afiladas quando confrontadas com árvores de menor DAP (Figura 1). Nessa condição, árvores dominadas com maior DAP apresentariam, necessariamente, copa de maior dimensão, o que poderia ser encontrado em árvores com tendência a mudar de posição social, com aumento do comprimento da copa devido à retomada do crescimento em altura ou, em árvores que passaram de codominante para dominada em

tempo relativamente curto.

Proporção de copa – Pc

Árvores de grande DAP tendem a apresentar menor comprimento da copa, pois a proporção de copa é fortemente influenciada pela redução do crescimento em altura, revelando que a mortalidade dos ramos na base da copa foi maior que o aumento do comprimento da copa ocorrido com o crescimento apical da árvore.

As equações individuais para qualquer posição social mostrou R²aj. oscilando de 0,151 - 0,236 e dispersão expressa pelo Syx% entre 42,1 - 49,5%, decorrentes da heterogeneidade da variável dependente que não pode ser totalmente explicada pelo DAP das árvores (Tabela 2).

A comparação das regressões entre as posições sociais por meio da análise de covariância não mostrou diferença entre os níveis das regressões de árvores da posição social codominante - D1 (Pr.<0,9203) e dominada - D2 (Pr.<0,7296) em relação às dominantes. Entretanto, houve significância da inclinação da regressão para árvores codominantes - (1/d)*D1 (Pr.=0,0354) e dominadas

TABELA 2: Equações para as variáveis morfométricas de araucária.
TABLE 2: Equations for the morphometric variables araucaria.

Variável	Eq.	PS	n	Equação	Estatísticas		
					R ² aj.	Syx%	Sig. F
h/d	1	PS1	192	$\hat{h/d} = 121,7981 - 21,4212 \ln(d)$	0,690	12,6	<0,0001
	2	PS2	40	$\hat{h/d} = 131,8548 - 23,8519 \ln(d)$	0,602	16,9	<0,0001
	3	PS3	61	$\hat{h/d} = 171,8852 - 35,2972 \ln(d)$	0,681	16,8	<0,0001
Pc	4	PS1	193	$\hat{Pc} = 13,8765 + 728,2059 (1/d)$	0,236	42,1	<0,0001
	5	PS2	40	$\hat{Pc} = 14,3630 + 421,6747 (1/d)$	0,227	49,5	0,0011
	6	PS3	61	$\hat{Pc} = 15,5920 + 302,1213 (1/d)$	0,151	42,5	0,0013
Fc	7	PS1	193	$\hat{Fc} = 0,0488 (d)$	0,874	39,5	<0,0001
	8	PS2	36	$\hat{Fc} = 0,0544 (d)$	0,875	37,2	0,0001
	9	PS3	60	$\hat{Fc} = 0,0746 (d)$	0,889	37,8	<0,0001

Em que: P_c = proporção de copa; F_c = proporção de copa; h/d = relação h/d; d = diâmetro a altura do peito, em cm; h = altura total, em m; Eq. = equação; PS = posição sociológica: 1 = dominante, 2 = codominante, 3 = dominada; n = número de indivíduos.

TABELA 3: Parâmetros estimados da relação h/d com variável *dummy*.
 TABLE 3: Estimated parameters of relation h/d with dummy variable.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr.>F
Modelo	3	40494	13498	281,16	<0,0001
Erro	289	13874,53	48,01	-	-
Total	292	54368,53	-	-	-

Variável	Parâmetros	Erro Padrão	Valor de t	Pr.> t
Intercepto	129,2796	4,4428	29,1	<0,0001
ln(d)	-23,3017	1,1762	-19,81	<0,0001
D2	42,6055	8,7527	4,87	<0,0001
ln(d)*D2	-11,9955	2,5726	-4,66	<0,0001

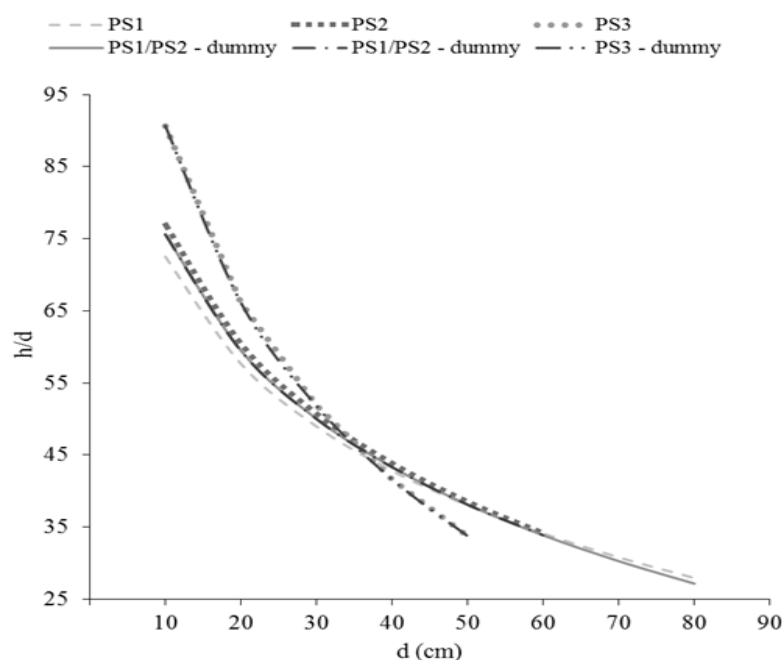


FIGURA 1: Linhas de regressão da relação h/d para árvores de araucária na posição social: (PS1) - dominante; (PS2) - codominante; (PS3) - dominada, com sobreposição da curva gerada por modelo *dummy*.

FIGURE 1: Regression lines of the relation h/d for araucaria trees in social position: (PS1) - dominant; (PS2) - codominant; (PS3) - dominated, with overlap of the curve generated by dummy model.

- $(1/d)*D2$ (Pr.=0,0017), revelando que para um mesmo DAP ocorre uma mudança na proporção de copa, conforme a posição social ocupada pela árvore.

A inclusão de variáveis *dummy* (D1) e (D2) para descrever o efeito da posição social codominante e dominada - equação 11 - propiciou um valor de R^2_{aj} de 0,228 e $Syx\%$ de 43,1%, similares aos observados nas regressões individuais (Tabela 2).

O modelo de regressão 11 com variável *dummy* manteve um mesmo valor de intercepto para as três posições sociais (14,2963), ao verificar a inclinação das regressões ocorreu maior redução no comprimento da copa nas árvores que pertenciam à posição social codominante (-290,0441) seguida da dominada (-384,2918) (Tabela 4), este efeito é

resultado do aumento da competição lateral entre as copas das árvores na floresta e a diminuição da exposição da copa à luz à medida que ocupa piores posições sociais (Figura 2).

Formal de copa – Fc

O formal de copa definido pela razão entre o diâmetro de copa e seu comprimento, apresentou equações individuais com intercepto não significante para qualquer posição social da árvore, com R^2_{aj} superior a 0,874 e dispersão expressa pelo $Syx\%$ oscilou entre 37,2 - 39,5% (Tabela 2).

A grande variabilidade encontrada no formal de copa das araucárias se deve ao comprimento de copa ser fortemente influenciado pela condição de competição submetida no passado,

$$\hat{Pc} = 14,2963 + 713,2518 \left(\frac{1}{d} \right) - 290,0441 \left(\left(\frac{1}{d} \right) D1 \right) - 384,2918 \left(\left(\frac{1}{d} \right) D2 \right) \quad (11)$$

Em que: = proporção de copa; d = diâmetro a altura do peito; D1 = variável *dummy* para árvores codominantes (PS2); D2 = variável *dummy* para árvores dominadas (PS3).

TABELA 4: Parâmetros estimados da proporção de copa com variável *dummy*.
TABLE 4: Estimated parameters of proportion crown with dummy variable.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr.>F
Modelo	3	15083,5	5027,83	29,81	<0,0001
Erro	289	48739,63	168,65	-	-
Total	292	63823,14	-	-	-
Variável	Parâmetros	Erro Padrão	Valor de t	Pr.> t	
Intercepto	14,2963	1,8761	7,62	<0,0001	
1/d	713,2518	75,9946	9,39	<0,0001	
1/d*D1	-290,0441	69,2445	-4,19	<0,0001	
1/d*D2	-384,2918	59,2466	-6,49	<0,0001	

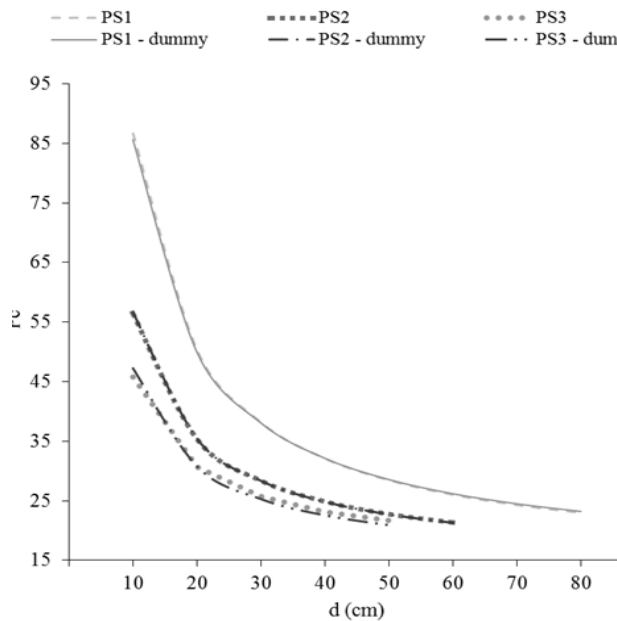


FIGURA 2: Linhas de regressão da proporção de copa para árvores de araucária na posição social: (PS1) - dominante; (PS2) - codominante; (PS3) - dominada, com sobreposição da curva gerada por modelo *dummy*.

FIGURE 2: Regression lines of proportion crown for araucaria trees in social position: (PS1) - dominant; (PS2) - codominant; (PS3) - dominated, with overlap of the curve generated by dummy model.

resultado em conformidade com outro estudo realizado para espécie de *Picea abies* em que os autores sugerem a sua utilização na modelagem do crescimento individual de árvores (HASENAUER e MONSERUD, 1996).

Em araucária, o formal de copa é fortemente alterado com o decorrer do crescimento. Segundo Nogueira (1989), o aumento da idade e do grau de concorrência modifica a forma da copa das araucárias. Em árvores jovens com crescimento em altura proporcionalmente maior que o crescimento lateral dos galhos, a copa assume características de forma cônica (menor formal de copa). Quando o

incremento em altura diminui, a copa toma forma elipsoidal e em idade mais avançada, ao atingir a maturidade, alcança forma quase plana ou de umbrela (grande formal de copa). Desta fase em diante, a gema apical tende a ficar em nível mais baixo que o dos galhos da extremidade, que continuam crescendo para os lados e para cima, indicando a senilidade da espécie (REITZ e KLEIN, 1966).

A comparação das regressões entre as posições sociais com a análise de covariância apontou probabilidade significativa somente para a interação - d*D2 (Pr.=0,0001), mostrando que apenas o grupo das árvores dominadas tinham regressões distintas

quanto à inclinação das curvas, apresentando nível comum. Assim, a relação formal de copa não diferiu entre árvores dominantes e codominantes - $d \cdot D1$ (Pr.=0,1923) indicando existir uma mesma razão entre o diâmetro de copa e o seu comprimento para árvores dominante e codominante, contudo, com dimensões da copa diferentes.

A inclusão de variáveis *dummy* (D2) para descrever o efeito da posição social dominada - equação 12 - propiciou um valor de R^2_{aj} de 0,876 e $Syx\%$ de 39,3%, parecidos aos observados nas regressões individuais (Tabela 2).

$$\hat{F}_c = 0,0494(d) + 0,0253((d)D2) \quad (12)$$

Em que: = formal de copa; d = diâmetro a altura do peito; D2 = variável *dummy* para árvores dominadas (PS3).

O modelo de regressão 12 com variável *dummy* manteve um mesmo valor de intercepto para as três posições sociais (0,0494), porém, ao analisar a inclinação da regressão, ocorreu um aumento do seu valor no formal de copa nas árvores que pertenciam à posição social dominante (0,0253) (Tabela 5).

A análise gráfica da Figura 3 mostrou existir nível comum para as curvas de regressão nas três posições sociais e que existiu pequena diferença na dimensão do formal de copa entre árvores dominantes e codominantes, porém, essa diferença não deferiu estatisticamente. O modelo de regressão com variável *dummy* sobrepôs-se às estimativas calculadas com os modelos individuais para PS1 e PS3 e teve estimativas próximas às observadas em árvores de PS2. Entretanto, essa diferença foi pequena e estatisticamente desconsiderada.

TABELA 5: Parâmetros estimados do formal de copa com variável *dummy*.
TABLE 5: Estimated parameters of formal crown with dummy variable.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr.>F
Modelo	2	1609,04	804,52	1018,82	<0,0001
Erro	286	225,84	0,7897	-	-
Total	288	1834,89	-	-	-
Variável	Parâmetros	Erro Padrão	Valor de t	Pr.> t	
d	0,04938	0,001216	40,63	<0,0001	
d*D2	0,02527	0,003984	6,34	<0,0001	

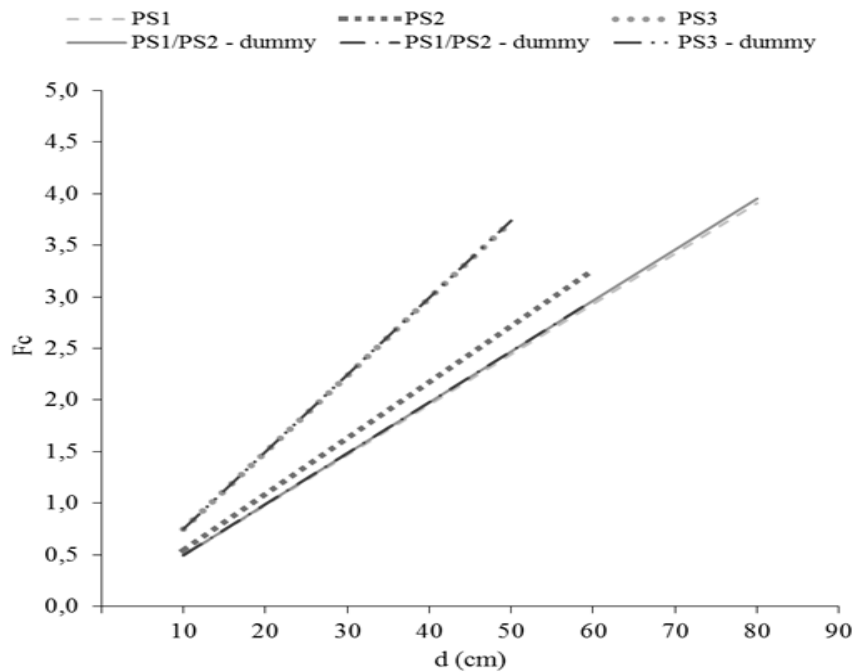


FIGURA 3: Linhas de regressão do formal de copa para árvores de araucária na posição social: (PS1) - dominante; (PS2) - codominante; (PS3) - dominada, com sobreposição da curva gerada por modelo *dummy*.

FIGURE 3: Regression lines of formal crown for araucaria trees in social position: (PS1) - dominant; (PS2) - codominant; (PS3) - dominated, with overlap of the curve generated by dummy model.

Aplicação das equações

Considerando como meta de manejo árvores dominantes e codominantes com DAP de 40 cm obtém-se na equação 10:

$$h/d = 129,2796 - 23,3017 \ln(40) + 42,6055(0) - 11,9955(\ln(40).0) \quad (13)$$

$$\hat{h/d} = 43,3, \text{ equivalente a uma } h = 17,3 \text{ m.} \quad (14)$$

O valor zero na equação 13 representou a posição social dominada, não considerada neste exemplo.

Substituindo o DAP objetivo na equação 11 de proporção de copa tem-se:

$$\hat{Pc} = 14,2963 + 713,2518 \left(\frac{1}{40} \right) - 290,0441 \left(\left(\frac{1}{40} \right).0 \right) - 384,2918 \left(\left(\frac{1}{40} \right).0 \right) \quad (15)$$

$$\hat{Pc} = 32,1\%.$$

O valor zero na equação 15 representou a posição social codominante e dominada, considerando na equação apenas as dimensões para as árvores dominantes. Sendo a altura total 17,3 m, o comprimento de copa de 5,6 m é obtido isolando a variável na expressão $Pc = (cc/h).100$.

O formal de copa de árvores dominantes e codominantes calculado pela equação 12, com a substituição do DAP objetivo tem-se:

$$\hat{Fc} = 0,0494(40) + 0,0253((40).0) \quad (16)$$

$$\hat{Fc} = 1,97.$$

Isolando-se o diâmetro de copa na expressão $Fc = (dc/cc)$ e para o comprimento de copa de 5,6 cm, anteriormente calculado, resulta o diâmetro de copa de 11,0 m.

Assim, o número de árvores potenciais com diâmetro de 40 cm em um hectare, considerando-se um espaçamento hexagonal regular, é calculado pela expressão descrita por Schneider e Schneider (2008):

$$N/ha = \frac{10000 \cdot 0,8666}{\pi \cdot \left(\frac{11,0}{2} \right)^2} = 91,2 \text{ árvores /ha} \quad (17)$$

sendo a área basal dada por:

$$G/ha = 91,2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 40^2}{40000} \right) = 11,5 \text{ m}^2/\text{ha} \quad (18)$$

CONCLUSÕES

Mesmo com a grande variabilidade encontrada na forma e dimensão da copas decorrentes do processo de crescimento e de competição, as relações morfométricas de araucária podem ser estimadas com precisão por modelos de regressão.

A relação h/d, proporção de copa e formal de copa, pode ser descrita por modelo individual para posição social dominante, codominante e dominada, ou alternativamente por modelo único com a utilização de variáveis *dummy*, que diferenciam o estrato dominado no modelo de relação h/d e de formal de copa.

Para a proporção de copa existe diferença de dimensões das árvores dos três estratos sociais, sendo necessário utilizar uma variável de

classificação *dummy* para cada caso ou os modelos individuais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS

- ASSMANN, E. **The principles of forest yield study**. Oxford: Pergamon Press, 1970. 506 p.
- BECHTOLD, W. A. Crown-diameter prediction models for 87 species of stand-grown trees in the eastern United States. **Southern Journal of Applied Forestry**, Washington, v. 27, p. 269 - 278, 2003.
- BURGER, H.B. Zuwachs in zwei hiebsreifen Fichtenbeständen. Mitt. Schweiz. Anst. F. forstl. Vers. **Wesen**, v. 21, p. 147 - 176, 1939.
- COIMBRA, J. L. M. et al. Esperanças matemáticas dos quadrados médios: uma análise essencial.

- Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 6, p. 1730 - 1738, 2006.
- COLE, W. G.; LORIMER C. G. Predicting tree growth from crown variables in managed Northern hardwood stands, **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 67, p. 159 - 175, 1994.
- COSTA, E. A.; FINGER, C. A. G.; CUNHA, T. A. Influência da posição social e do número de raios na estimativa da área de copa em Araucária. **Revista Floresta**, Curitiba, v.43, n. 3, p. 429 - 438, jul./set, 2013.
- CUNHA, T. A.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R. Linear mixed model to describe the basal area increment for individual credo (*Cedrela odorata* L.) trees in Occidental Amazon, Brazil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 3, p. 461 - 470, jul. - set., 2013.
- DURLO, M. A. Relações morfométricas para *Cabralea canjerana* (Well.) Mart. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 141 - 150, jun. 2001.
- DURLO, M. A. **Zuwachsuntersuchungen und Einzelbaumwachstums-modelle für *Cabralea canjerana*, *cedrela fissilis* und *Cordia trichotoma* in sekundären Laubmischwälder Südbrasilien**. 1996. 175 p. Dissertation. Institut für Waldwachstumsforschung. Universität für Bodenkultur, Wien, 1996.
- DURLO, M. A.; DENARDI, L. Morfometria de *Cabralea canjerana*, em mata secundária nativa do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 55 - 66, nov.1998.
- DURLO, M. A.; SUTILI, F.J.; DENARDI, L. Modelagem da copa de *Cedrela fissilis* Vellozo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 79 - 89, dez. 2004.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.
- EPAGRI. **Dados e Informações Biofísicas da Unidade de Planejamento Regional Planalto Sul Catarinense** – UPR 3, Florianópolis, 2002. 70 p.
- FREUND, R. J.; LITTELL, R.C. **SAS for linear models: a guide to the ANOVA and GLM Procedures**. SAS INSTITUTE INC., Cary, NC, 1981. 226 p.
- GETZIN, S. et al. Scale-dependent competition at the stand level assessed from crown areas. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, p. 2478 - 2485, 2008.
- GILL, S.J.; BIGING, G. S.; MURPHY, E. C. Modeling conifer tree crown radius and estimating canopy cover. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 126, p. 405 - 416, 2000.
- HASENAUER, H. Dimensional relationships of open-grown trees in Austria. **Forest Ecology and Management**, v. 96, p. 197 - 206, 1997.
- HASENAUER, H.; MONSERUD, R. A. A crown ratio model for Austrian forests. **Forest Ecology and Management**, v. 84, p. 49 - 60, 1996.
- HESS, A. F. et. al. Proposta de manejo de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze utilizando o quociente de Liocourt e análise de incremento, em propriedade rural no Município de Lages, SC. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 30, n. 64, p. 337 - 345, Nov./dez. 2010.
- MATTOS, R. B. **Produtividade e incremento de *cabralea canjerana* (Vell.) Mart., *Cedrela fissilis* Vell. e *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. Ex Steud., em floresta nativa no Rio Grande do Sul**. 2007. 105f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.
- MCINTOSH, A. C. S.; GRAY, A. N.; GARMAN, S. L. Estimating canopy cover from standard Forest Inventory Measurements in Western Oregon. **Forest Science**, Bethesda, v. 58, p. 154 - 167, 2012.
- MITSCHERLICH, G. Wald, **Wachstum und Umwelt**. Eine Einführung in die ökologischen Grundlagen des Waldwachstums. Erster Band: Form und Wachstum von Baum und Bestand. II Auflage. Frankfurt am Main: J.D. Sauerländer's Verlag, 1978. 144 p.
- MONSERUD, R.; STERBA, H. A. A basal area increment model for individual trees growing in even-and-uneven-aged forest stands in Austria. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 80, p. 57 - 80, 1996.
- NOGUEIRA, A. C. **Reação do crescimento radial da *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em florestas naturais que sofreram corte seletivo**. 1989, 107 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.
- NUTTO, L. Manejo do crescimento diamétrico de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. baseado na árvore individual. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 9 - 25, 2001.
- NUTTO, L.; SPATHELF, P. Modelagem da desrama natural de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 33, n. 3, p. 295 - 309, 2003.
- PADOIN, V.; FINGER, C. A. G. Relações entre as

- dimensões da copa e a altura das árvores dominantes em povoamentos de *Pinus taeda* L. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 95 - 105, 2010.
- PUKKALA, T.; LÄHDE, E.; LAIHO, O. Growth and yield models for uneven-sized forest stands in Finland. **Forest Ecology and Management**, v. 258, p. 207 - 216, 2009.
- REITZ, R.; KLEIN, R. M. **Flora ilustrada catarinense: Araucariáceas**. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1966. 63 p.
- ROMAN, M.; BRESSAN, D. A.; DURLO, M. A. Variáveis morfométricas e relações interdimensionais para *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. Ex Steud. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 473 - 480, out. - dez., 2009.
- RUSSELL, M.B.; WEISKITTEL, A.R. Maximum and largest crown width equations for 15 tree species in Maine. **Northern Journal of Applied Forestry**, Bethesda, v. 28, p. 84 - 91, 2011.
- SAS INSTITUTE INC. The SAS System for Microsoft Windows: release 9.1.2. Cary, 2004.
- SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. **Introdução ao manejo florestal**. Santa Maria: FACOS UFSM, 2008. 566 p.
- SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P.; SOUZA, C. A. M. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**. 2º Ed. Santa Maria: UFSM, CEPEF, 2009. 236 p.
- WEBER, V. P. et al. Diretrizes para desbaste de *Pinus taeda* L. em função da altura dominante. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 1, p. 193 - 201, jan. - mar., 2013.