

Efeito da Competição nas Relações Dimensionais de Araucária

Emanuel Arnoni Costa¹, César Augusto Guimarães Finger¹

¹Departamento de Ciências Florestais, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria/RS, Brasil

RESUMO

Este estudo teve por objetivo descrever o efeito da competição nas relações dimensionais de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. Análise de covariância foi usada para comparar as tendências das relações dimensionais para grupo de árvores crescendo livre em áreas de campo e sob competição na floresta. Árvores crescendo sob competição, quando comparadas às crescendo livre, apresentaram, em média, linhas de regressão com maior intercepto para a altura, altura de inserção de copa, relação altura/diâmetro, avaliando-se um mesmo diâmetro à altura do peito. A diminuição da competição de árvores aumenta o comprimento de copa e reduz a altura do ponto de inserção de copa. A inclusão da variável índice de competição nos modelos melhorou ajuste e precisão das relações dimensionais em árvores de floresta, o que possibilita usar as equações ajustadas na estimativa das dimensões de copa como auxílio às atividades silviculturais de araucária.

Palavras-chave: modelagem, concorrência, relações morfométricas.

Effect of Competition in Dimensional Relations of Araucaria

ABSTRACT

This study aimed to describe the effect of competition in the dimensional relations of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. Covariance analysis was used to compare tendency dimensional relationship for the group of open grown in fields and under competition in the forest. Trees growing under competition when compared to those with open grown presented, on average, regression lines with superior intercept for height, height of crown insertion point, height/diameter ratio, when evaluating the same diameter at breast height. Decreased tree competition increases the crown length and reduces height of crown insertion point. The inclusion of variable competition index in models improved fit and accuracy of dimensional relations in forest trees, which allows to use the equations fitted to estimate the crown dimensions as assistance for silvicultural activities of araucaria.

Keywords: modeling, concurrence, morphometric relations.

1. INTRODUÇÃO

Atributos da copa são medidas da árvore comumente incluídas em modelos de crescimento em diâmetro ou em área basal de árvores individuais. O comprimento e a largura são medidas comuns do tamanho da copa e, muitas vezes, utilizados como substitutos para área foliar em modelagem de crescimento de árvores (Weiskittel et al., 2011).

A altura na base da copa, o comprimento do fuste, bem como a proporção de copa e do fuste estão interligados por relacionamentos algébricos simples, que se relacionam a vários e importantes usos na silvicultura (Rijal et al., 2012). Desses, a proporção de copa é a variável mais utilizada, pois reflete o tamanho e o vigor da árvore, a posição social dentro do povoamento e a densidade (Wykoff, 1990).

A proporção de copa é usada como variável de entrada para a estimativa do crescimento e da mortalidade de árvores individuais, assim como indicador de mudanças na aparência do povoamento ao longo do tempo, para adequabilidade do habitat e alterações visuais (Temesgen et al., 2005). Na prática, há vários indicadores de condições do povoamento que podem auxiliar na determinação de regimes de desbaste, como a proporção de copa viva, índice de espaçamento relativo e densidade do povoamento relativo (Zhao et al., 2012). Nesse contexto, medidas da copa são covariáveis importantes quando se deseja obter características de vigor das árvores e sua aplicação em equações de crescimento.

Além desses, o diâmetro à altura do peito (DAP) é um dos atributos de árvores individuais frequentemente utilizados na modelagem de florestas (Pokharel & Dech, 2012). Estudos apresentam modelos para as dimensões da copa como funções simples do diâmetro à altura do peito e altura total da árvore (Hasenauer & Monserud, 1996; Gill et al., 2000; Grote, 2003). Nesse contexto, medidas de concorrência são um dos mais importantes preditores de crescimento de árvores individuais (Radtko et al., 2003; Contreras et al., 2011) e necessárias na modelagem de copas (Davies & Pommerening, 2008; Thorpe et al., 2010; Pommerening & Maleki, 2014).

A competição de uma árvore é descrita tanto para o passado como para o presente, sendo a influência do passado de árvores vizinhas dada pela proporção de copa, enquanto que a situação presente é estimada

por um índice de competição dependente da distância para cada árvore (Thurnher et al., 2011).

Face ao exposto, este estudo procurou descrever as relações dimensionais de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. Especificamente, objetivou-se: (a) ajustar modelos para descrever o comportamento das seguintes variáveis: altura total, altura do ponto de inserção da copa, relação altura/DAP e comprimento de copa em função do DAP de araucária crescendo livre e sob competição em floresta natural; (b) comparar, por meio da análise de covariância, o nível (β_0) e inclinação (β_1) das equações ajustadas para árvores livres e sob competição; (c) avaliar o efeito da concorrência, descrito por meio de índices de competição, nas relações dimensionais de árvores crescendo na floresta.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

Os dados foram coletados em duas propriedades rurais, no município de Lages, SC (27°48'S e 50°19'O). Em uma das propriedades foram medidas árvores de araucária sob competição em floresta natural e, na outra, apenas árvores crescendo livre de competição em área de campo aberto. Essas propriedades estão a uma distância média de 5 km entre si, ambas situadas próximas à Fazenda Pedras Brancas, ponto turístico da região, e a 30 km de distância da sede do município.

O clima, de acordo com a classificação de Köppen, é subtropical úmido, sem estação seca e com verão temperado (Cfb). A altitude do município é de aproximadamente 987 m, com temperatura anual média de 15,2 °C e precipitação anual média de 1.685,7 mm (Alvares et al., 2013). Os solos predominantes são Nitossolos Háplicos e Cambissolos Húmicos, desenvolvidos a partir de rochas basálticas (Embrapa, 1999).

Na propriedade rural com árvores de araucária sob competição na floresta foram identificadas 28 espécies de acordo com levantamento realizado para o desenvolvimento do Plano de Manejo Florestal do local no ano de 2000, em que as 10 espécies com maior valor de importância (VI), *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (27,88%), *Ocotea* spp. (23,49%), *Sapium glandulosum* (L.) Morong (6,26%), *Piptocarpha* sp. (5,65%), *Lamanonia ternata* Vell (4,71%), *Lithraea brasiliensis* Marchand (4,16%), *Styrax leprosus* Hook. e Arn (3,32%), *Myrsine umbellata* Mart (2,86%),

Ilex brevicauspis Reissek (2,46%) e *Myrceugenia euosma* (O. Berg) D. Legran (2,10%), somaram um total de 82,89% do referido parâmetro, o qual representa uma combinação em uma única expressão dos valores relativos de densidade, dominância e frequência.

2.2. Levantamento dos dados

Foram selecionadas intencionalmente 422 árvores de araucária, sendo que, dessas, 307 árvores no interior de floresta natural, distribuídas em classes de diâmetro previamente estabelecidas por Hess et al. (2010), e 115 árvores de fora da floresta, crescendo livres de competição em área de campo aberto. Para as árvores no interior da floresta natural foram medidas suas competidoras, determinando-se as distâncias horizontais (distij) e declividades, usando-se o hipsômetro Vertex IV.

O critério de seleção de árvores competidoras em relação a árvore objetivo foi baseado na dimensão da copa e consequente altura das árvores na capacidade de competir por luz e espaço de crescimento. As árvores circunvizinhas em um giro de 360° da árvore objetivo que tivessem contato entre as copas foram consideradas competidoras. Quando a árvore competidora estava a uma altura total acima ou abaixo da árvore objetivo e não ocorria o contato entre copas, essas árvores foram desconsideradas durante o critério de seleção, buscando-se selecionar apenas árvores que exercessem competição efetiva. Para os locais estudados, devido à elevada dominância da espécie *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, encontrou-se, nas árvores objetivo, somente influência da competição intraespecífica.

Assim, ao considerar que houve contato entre as copas, o critério de seleção de árvores competidoras pode ser representado pela expressão 1:

$$distij < (rc_i + rc_j) \tag{1}$$

em que: distij = distância horizontal entre a árvore objetivo (i) e a árvore competidora (j); rc_i = raio de copa da árvore objetivo (i), em m; rc_j = raio de copa da árvore competidora (j), em m. O raio de copa das árvores (rc) foi calculado dividindo-se pela metade o valor obtido da estimativa do modelo ajustado do diâmetro de copa (dc), em função do DAP, para o local: $[dc = 1,3149 + 0,2112.DAP] - R^2 = 0,838; Syx \% = 13,7\%$.

Em cada árvore, foi medido o diâmetro à altura do peito (DAP), a altura total (h), a altura do ponto de inserção da copa (hic), definida como a altura do nível do solo à inserção da copa viva. O DAP foi medido com fita diamétrica, as alturas (h e hic), com o hipsômetro Vertex IV. O comprimento de copa (cc) foi obtido pela diferença entre h e hic. As características biométricas das árvores objetivo de araucária estão reunidas na Tabela 1.

2.3. Índices de competição

A quantificação do grau de concorrência entre as árvores foi obtida por meio dos índices de competição dependentes e independentes da distância, que consideram para o cálculo apenas as variáveis DAP e distij (distâncias horizontais) entre a árvore objetivo (i) e suas competidoras (j) (Tabela 2).

Tabela 1. Características biométricas de árvores de araucária crescendo sem competição em área de campo aberto e sob competição em floresta de araucária, em Lages, SC.

Table 1. Biometric characteristics of araucaria trees growing without competition in open field area and under competition in Araucaria Forest, Lages, SC.

Variável	Tipo	N	Mínimo	Média	Máximo	CV%
DAP			9,9	37,9	85,8	41,3
h			7,2	16,6	24,9	21,7
hic	Floresta	307	3,0	12,0	19,0	30,6
h/DAP			0,24	0,49	1,02	30,4
cc			1,3	4,5	10,7	43,2
DAP			18,0	41,6	68,1	24,9
h			7,3	12,5	18,0	20,9
hic	Livre	115	1,9	5,1	13,8	41,3
h/DAP			0,20	0,31	0,54	18,0
cc			1,7	7,5	13,7	41,8

DAP = diâmetro à altura do peito, em cm; h = Altura total, em m; hic = Altura de inserção de copa, em m; Relação h/DAP; cc = Comprimento de copa, em m; N = Número de árvores; CV% = Coeficiente de variação em porcentagem.

Tabela 2. Índices de competição calculados para árvores de araucária crescendo sob competição, em Lages, SC.
Table 2. Competition indices calculated for araucaria trees growing under competition, Lages, SC.

Índices	Expressão	Variáveis	Fonte
IC1	$= DAP_i^2 \cdot n / \left(\sum_{j=1}^n DAP_j^2 \right)$	DAP	Daniels et al. (1986)
IC2	$= \sum_{j=1}^n \left(DAP_j^2 / DAP_i^2 \right)$	DAP	Corona & Ferrara (1989)
IC3	$= \left(\sum_{j=1}^n DAP_j \right) / DAP_i$	DAP	Lorimer (1983)
IC4	$= \left(\sum_{j=1}^n DAP_j / DAP_i \right) / n$	DAP	Mugasha (1989)
IC5	$= \sum_{j=1}^n \left[DAP_j / \left(DAP_i \cdot distij \right) \right]$	DAP, distij	Hegyí (1974)
IC6	$= \sum_{j=1}^n \left[DAP_j / \left(DAP_i \cdot distij^{0,5} \right) \right]$	DAP, distij	Hegyí (1974) - modificado
IC7	$= \sum_{j=1}^n \left[\left(DAP_j / DAP_i \right)^2 / distij \right]$	DAP, distij	Rouvinen & Kuuluvainen (1997)
IC8	$= \sum_{j=1}^n \left(DAP_j / distij \right)$	DAP, distij	Rouvinen & Kuuluvainen (1997)

DAP = Diâmetro à altura do peito, em cm; distij = Distância horizontal, em m; i-ésima árvore objetivo; j-ésima árvore competidora.

2.4. Relações dimensionais

Para descrever a relação das variáveis dimensionais em função do DAP foi ajustado o modelo de potência 2, comumente chamado alométrico, na forma não linear:

$$y = \beta_0 \cdot x^{\beta_1} + \varepsilon \quad (2)$$

em que: y = variável dimensional: h; hic; h/DAP; cc; x = DAP, em cm; β_0 , β_1 = coeficientes de regressão estimados; ε = erro residual.

O modelo não linear de combinação exponencial e potência 3 foi usado para verificar o efeito da competição nas relações dimensionais de araucária na floresta:

$$y = \beta_0 \cdot x_1^{\beta_1} \exp(\beta_2 \cdot x_2) + \varepsilon \quad (3)$$

em que: y = variável dimensional; h; hic; h/DAP; cc; x_1 = DAP, em cm; x_2 = índices de competição dependentes e independentes da distância [IC1..IC8]; β_0 , β_1 , β_2 = coeficientes de regressão estimados; ε = erro residual.

2.5. Análise dos dados

Todas as estatísticas foram processadas no Sistema de Análise Estatística (SAS, 2004). Os modelos ajustados foram avaliados quanto ao coeficiente de determinação (R^2), ao erro padrão da estimativa (Syx), à probabilidade do valor de F da análise de variância

e à análise gráfica dos resíduos em função dos valores estimados. Com a linearização do modelo alométrico 2, foi possível realizar a análise de covariância com intuito de verificar a existência ou não de diferenças entre níveis (β_0) e inclinações (β_1) das equações ajustadas (Milliken & Johnson, 2002) para as variáveis: altura total, altura do ponto de inserção da copa, relação h/DAP e comprimento de copa em árvores livres e em competição.

A análise de correlação de Pearson foi usada para indicar o grau de associação entre as variáveis diâmetro à altura do peito, altura total, altura do ponto de inserção da copa, relação h/DAP, comprimento de copa em função dos índices de competição dependentes e independentes da distância calculados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Relações dimensionais

Com o ajuste do modelo de regressão 2 para as variáveis dimensionais em função do DAP, obtiveram-se equações individuais que descrevem as mudanças morfológicas de araucárias crescendo sob competição na floresta e livre em áreas de campo aberto (Tabela 3). A maior variação nos valores de R^2 e Syx foi obtida para as árvores da floresta, o que pode estar relacionado às

diferentes condições e níveis de competição das árvores, porém todas as equações para árvores em floresta e com crescimento livre foram significantes (Prob.>F), confirmando a existência de regressão entre as variáveis dependentes e o diâmetro à altura do peito.

A análise de covariância mostrou diferença estatística entre níveis (β_0) e inclinações (β_1) das regressões do grupo de árvores crescendo na floresta e do grupo de crescimento sem competição para as variáveis h, relação h/DAP e cc (Tabela 4). A mesma análise, tendo como variável dependente hic, mostrou diferença significativa apenas em relação ao nível (β_0), enquanto a inclinação (β_1) mostrou igualdade estatística, evidenciando que a relação hic das árvores sob competição e livres apresentou o mesmo desenvolvimento, existindo diferença somente em relação à intercessão (β_0), que caracteriza o nível das equações.

As estimativas das regressões e a análise gráfica dos resíduos em função dos valores estimados em árvores sob competição e de crescimento livre confirmaram

o resultado da análise de covariância, que mostrou a necessidade do emprego de regressões específicas para árvores nas duas condições de crescimento (Figura 1).

A distribuição gráfica dos resíduos em função dos valores estimados mostrou grande amplitude de variação das variáveis dependentes estimadas em função do diâmetro à altura do peito, indicando que, embora ajuste e precisão apresentados, as equações descrevem uma tendência média, sendo oportuno introduzir nos modelos outras variáveis descritoras da árvore e do local para melhorar o desempenho dessas equações.

3.2. Efeito da competição nas relações dimensionais

O critério de seleção de árvores competidores, em relação a cada uma das 307 árvores objetivo, foi baseado na dimensão do diâmetro de copa definido na expressão 1, juntamente com a altura da árvore objetivo e suas circunvizinhas. Assim, foram selecionadas no

Tabela 3. Coeficientes de regressão e estatísticas de ajuste das variáveis morfométricas de árvores de araucária em crescimento livre e de árvores sob competição em floresta de araucária, em Lages, SC.

Table 3. Regression coefficients and fit statistics of morphometric variables for araucaria trees of open grown and under competition in Araucaria Forest, Lages, SC.

Variável	Tipo	β_0	β_1	R ²	Syx	Prob.>F
h	Floresta	4,1990	0,3836	0,5849	2,3215	<0,0001
hic		2,6037	0,4272	0,3742	2,9148	<0,0001
h/DAP		318,5556	-0,5372	0,7009	8,1286	<0,0001
cc		1,8224	0,2562	0,0619	1,9057	<0,0001
h	Livre	1,1539	0,6419	0,5891	1,6861	<0,0001
hic		0,8591	0,4780	0,0836	2,0096	<0,0001
h/DAP		143,2440	-0,4165	0,3679	4,4390	<0,0001
cc		0,4616	0,7487	0,2013	2,8073	<0,0001

h = Altura total, em m; hic = Altura de inserção de copa, em m; DAP = Diâmetro à altura do peito, em cm; Relação h/DAP; cc = Comprimento de copa, em m; β_0 , β_1 = Coeficientes de regressão estimados; R² = Coeficiente de determinação; Syx = Erro padrão da estimativa; Prob. > F = Probabilidade de significância para o valor de F.

Tabela 4. Análise de covariância das equações ajustadas para as variáveis dimensionais de araucária crescendo livre e sob competição em floresta de araucária, em Lages, SC.

Table 4. Covariance analysis of equations fitted for dimensional variables of araucaria trees of open grown and under competition in Araucaria Forest, Lages, SC.

Variável	Tipo	n-1	Nível (β_0) - Pr > F	Inclinação (β_1) - Pr > F
ln (h)	Floresta - Livre	421	<0,0001	0,0004
ln (hic)		421	<0,0001	0,2007 ns
ln (h/DAP)		421	<0,0001	0,0004
ln (cc)		421	<0,0001	0,0110

h = Altura total, em m; hic = Altura de inserção de copa, em m; DAP = Diâmetro à altura do peito, em cm; Relação h/DAP; cc = Comprimento de copa, em m; ln = Logaritmo natural; n = Número de árvores; β_0 , β_1 = Coeficientes de regressão; Pr > F = Probabilidade de significância para o valor de F; ns = Não significante a Pr. > 0,05.

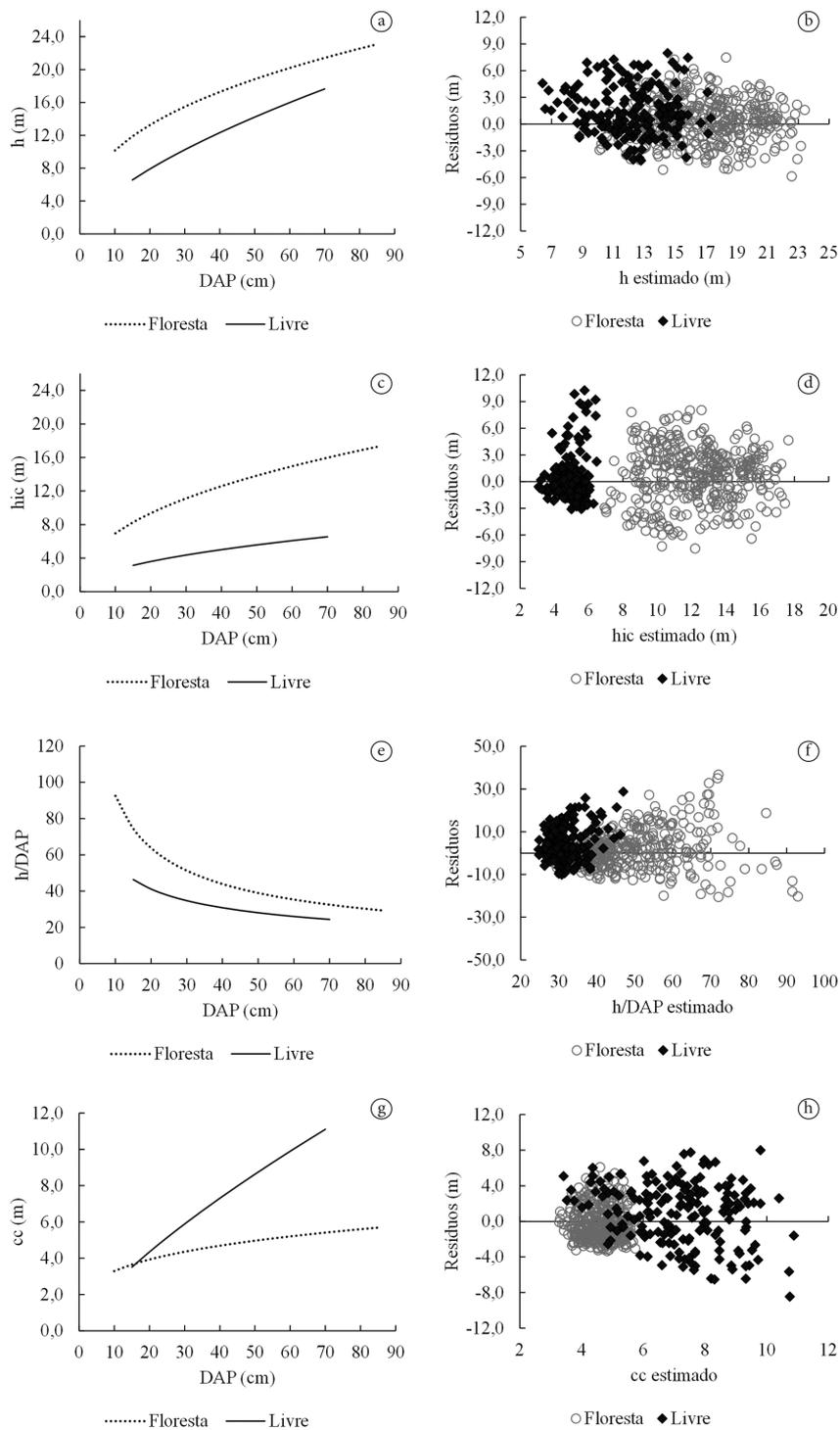


Figura 1. Linhas de regressão ajustadas e análise gráfica dos resíduos em função dos valores estimados para árvores de araucária crescendo sob competição e crescendo livre, em áreas de campo aberto, em Lages, SC; respectivamente, em (a,b) para h – altura total; (c,d) para hic – altura de inserção de copa; (e,f) para a relação h/DAP ; e (g,h) para o cc – comprimento de copa.

Figure 1. Fitted regression lines and graphical analysis of residuals in function of estimate values for araucaria trees growing under competition and open growing, in open field areas, Lages, SC; respectively, (a,b) to h - total height; (c,d) to hic - crown insertion height, (e,f) for the relation h/DAP ; and (g,h) to the cc - crown length.

mínimo 1 e no máximo 11 árvores competidoras para cada árvore objetivo, com média de 3,92 e desvio padrão de ± 1,82. Nesse sentido, com a seleção de árvores competidoras em relação a cada uma das objetivo, fez-se a quantificação do grau de competição com os índices de competição dependentes e independentes da distância (Tabela 2). Nessa etapa, valeu-se da análise de correlação de Pearson entre as variáveis dimensionais em função dos índices de competição para se verificar o grau de associação entre elas (Tabela 5).

Segundo a análise de correlação de Pearson, das 40 relações avaliadas, houve associação moderada em 57,5% ($|0,3| < \sigma < |0,7|$), forte em 7,5% ($\sigma > |0,7|$) e fraca ou inexistente em 35,0% ($\sigma < |0,3|$) dos casos (Tabela 5). A variável DAP da árvore objetivo foi a que apresentou maior correlação com os índices de competição, seguida da de comprimento de copa, relação h/DAP, altura total e altura do ponto de inserção de copa. Esses resultados confirmam o DAP como uma variável importante na composição de modelos de regressão por apresentar alta correlação com índices de competição e, usualmente, ser medido em inventários florestais.

Assim, a correlação de Pearson foi importante para definir o grau de associação entre as variáveis, não permitindo identificar o melhor índice de competição para ajuste da expressão 3. Por esse motivo fez-se o ajuste individual da expressão 3 para cada índice de competição, formando-se 32 equações, sendo, em seguida, selecionada a melhor equação para cada variável dimensional (Tabela 6).

Com base nos critérios de ajuste e precisão dos modelos para a variável altura total, o melhor modelo foi obtido com a inclusão do IC6 (Tabela 6), que é um índice de competição dependente da distância (Tabela 2), porém, diferindo pouco quanto às estatísticas avaliadas dos modelos ajustados com os IC2 e IC3, que são independentes da distância (Tabela 2). A inclusão da variável índice de competição no modelo selecionado permitiu um aumento no valor de ajuste (R^2 em 6%), com uma redução do erro (S_{yx} em ± 0,15 m), quando comparada à mesma relação ajustada apenas como função do DAP da árvore objetivo (Tabela 3).

No gráfico de superfície da altura total (Figura 2a), observou-se que, com o aumento da competição, ocorreu uma diminuição do DAP das árvores e, conseqüentemente, um aumento da crescimento em altura. Apesar do índice de competição apresentar em seu cálculo final um peso para cada árvore objetivo, para esse peso pode-se obter valores semelhantes para uma outra árvore objetivo de DAP diferente, resultado que pode ser influenciado pelo número de árvores competidoras, suas dimensões, suas distâncias horizontais, uma vez que é comum árvores apresentarem diferentes formas e dimensões em floresta natural inequiana.

Assim, esse resultado deve ser interpretado com cautela, pois quando se avalia a influência da posição sociológica na relação hipsométrica de araucária, observa-se que nas classes diamétricas iniciais as árvores codominantes e dominadas investiram mais no crescimento em altura, por falta de luz na copa, e,

Tabela 5. Análise de correlação de Pearson entre as variáveis dimensionais avaliadas para araucária em função dos índices de competição em floresta de araucária, em Lages, SC.

Table 5. Pearson's correlation analysis between the dimensional variables evaluated for araucaria in function of competition indices in Araucaria Forest Lages, SC.

Variáveis	IC1	IC2	IC3	IC4	IC5	IC6	IC7	IC8
DAP	0,1372	0,5345	-0,3034	-0,7033	-0,5494	-0,4715	-0,6278	0,1066
	*0,0160	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0617
h	-0,0735	-0,2307	0,0034	-0,4316	-0,2828	-0,1551	-0,3712	0,3133
	0,1981	<0,0001	0,9527	<0,0001	<0,0001	0,0064	<0,0001	<0,0001
hic	-0,2953	-0,0090	0,1854	-0,1841	-0,1069	0,0386	-0,1659	0,3970
	<0,0001	0,8755	0,0011	0,0012	0,0610	-0,4997	0,0035	<0,0001
h/DAP	-0,2478	0,6426	0,4102	0,7617	0,6208	0,5647	0,7267	0,0208
	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,7158
cc	0,4284	-0,4187	-0,3501	-0,4617	-0,3290	-0,3673	-0,3826	-0,1708
	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0026

DAP = Diâmetro à altura do peito, em cm; h = Altura total, em m; hic = Altura de inserção de copa, em m; Relação h/DAP; cc = Comprimento de copa, em m; [IC1..IC8] = Índices de competição. *Probabilidade da correlação.

Tabela 6. Coeficientes de regressão e estatísticas de ajuste das variáveis dimensionais para araucária em função do DAP e índices de competição em floresta de araucária, em Lages, SC.**Table 6.** Regression coefficients and fit statistics of dimensional variables for araucaria in function of DBH and competition indices in Araucaria Forest, Lages, SC.

Variáveis	β_0	β_1	β_2	R ²	Syx	Prob.>F
h = f (DAP, IC1)	4,1730	0,4005	-2,2944	0,617	2,235	<0,0001
h = f (DAP, IC2)	2,9088	0,4658	0,0104	0,635	2,184	<0,0001
h = f (DAP, IC3)	3,2724	0,4243	0,0217	0,636	2,182	<0,0001
h = f (DAP, IC4)	2,4427	0,4941	0,1167	0,623	2,220	<0,0001
h = f (DAP, IC5)	2,9080	0,4607	0,1037	0,625	2,214	<0,0001
h = f (DAP, IC6)*	2,8824	0,4555	0,0600	0,640	2,170	<0,0001
h = f (DAP, IC7)	2,7981	0,4790	0,0497	0,624	2,216	<0,0001
h = f (DAP, IC8)	3,9387	0,3743	0,0033	0,626	2,209	<0,0001
hic = f (DAP, IC1)*	2,4722	0,5076	-10,2076	0,552	2,460	<0,0001
hic = f (DAP, IC2)	1,1392	0,6132	0,0231	0,515	2,559	<0,0001
hic = f (DAP, IC3)	1,5314	0,5124	0,0476	0,502	2,594	<0,0001
hic = f (DAP, IC4)	0,6327	0,7171	0,3022	0,521	2,544	<0,0001
hic = f (DAP, IC5)	1,2238	0,5856	0,2156	0,465	2,689	<0,0001
hic = f (DAP, IC6)	1,1577	0,5814	0,1309	0,506	2,582	<0,0001
hic = f (DAP, IC7)	1,0682	0,6372	0,1094	0,481	2,648	<0,0001
hic = f (DAP, IC8)	2,3860	0,3992	0,0064	0,457	2,708	<0,0001
h/DAP = f (DAP, IC1)	326,2293	-0,5257	-2,7645	0,731	7,722	<0,0001
h/DAP = f (DAP, IC2)*	231,4982	-0,4696	0,0107	0,759	7,319	<0,0001
h/DAP = f (DAP, IC3)	261,0008	-0,5183	0,0268	0,757	7,342	<0,0001
h/DAP = f (DAP, IC4)	180,4608	-0,4214	0,1224	0,743	7,549	<0,0001
h/DAP = f (DAP, IC5)	240,8928	-0,4783	0,0785	0,726	7,803	<0,0001
h/DAP = f (DAP, IC6)	229,2667	-0,4811	0,0636	0,752	7,416	<0,0001
h/DAP = f (DAP, IC7)	216,4251	-0,4448	0,0436	0,736	7,647	<0,0001
h/DAP = f (DAP, IC8)	312,8999	-0,5670	0,0041	0,736	7,469	<0,0001
cc = f (DAP, IC1)	1,6100	0,2467	5,8003	0,205	1,705	<0,0001
cc = f (DAP, IC2)	5,4712	0,0164 ns	-0,0392	0,200	1,711	<0,0001
cc = f (DAP, IC3)	3,2524	0,1651	-0,0577	0,154	1,760	<0,0001
cc = f (DAP, IC4)*	17,9833	-0,1973	-0,5624	0,257	1,648	<0,0001
cc = f (DAP, IC5)	3,9434	0,0964 ns	-0,2486	0,122	1,792	<0,0001
cc = f (DAP, IC6)	3,9994	0,1091 ns	-0,1419	0,148	1,766	<0,0001
cc = f (DAP, IC7)	6,3391	-0,0344 ns	-0,1811	0,166	1,747	<0,0001
cc = f (DAP, IC8)	2,0698	0,2716	-0,0067	0,108	1,806	<0,0001

DAP = Diâmetro à altura do peito, em cm; h = Altura total, em m; hic = Altura de inserção de copa, em m; Relação h/DAP; cc = Comprimento de copa, em m; [IC1..IC8] = Índices de competição; β_0 , β_2 = Coeficientes de regressão estimados; R² = Coeficiente de determinação; Syx = Erro padrão da estimativa; Prob. > F = Probabilidade de significância para o valor de F; ns = Coeficiente de regressão estimado não significante a $\alpha = 5\%$. *Valores em negrito representam a equação selecionada.

consequentemente, apresentaram menor incremento em diâmetro. Com o aumento da idade, o crescimento em altura foi estabilizando, refletindo-se na diminuição do vigor das árvores, sendo esse comportamento mais evidente em árvores codominantes e dominadas e, por essa razão, foram observadas diferentes alturas para um mesmo diâmetro (Costa et al., 2014).

Na análise da relação dimensional da altura de inserção de copa com as variáveis descritoras, o melhor

modelo foi obtido com a inclusão do IC1 (Tabela 6), que é um índice de competição independente da distância (Tabela 2). A inserção da variável índice de competição no modelo selecionado permitiu aumentar o valor de ajuste (R² em 17,8%), e uma redução do erro (Syx em $\pm 0,45$ m), quando comparada à mesma relação ajustada como uma função do DAP da árvore objetivo (Tabela 3). No gráfico de superfície da altura de inserção de copa (Figura 2b), observou-se que, com o aumento

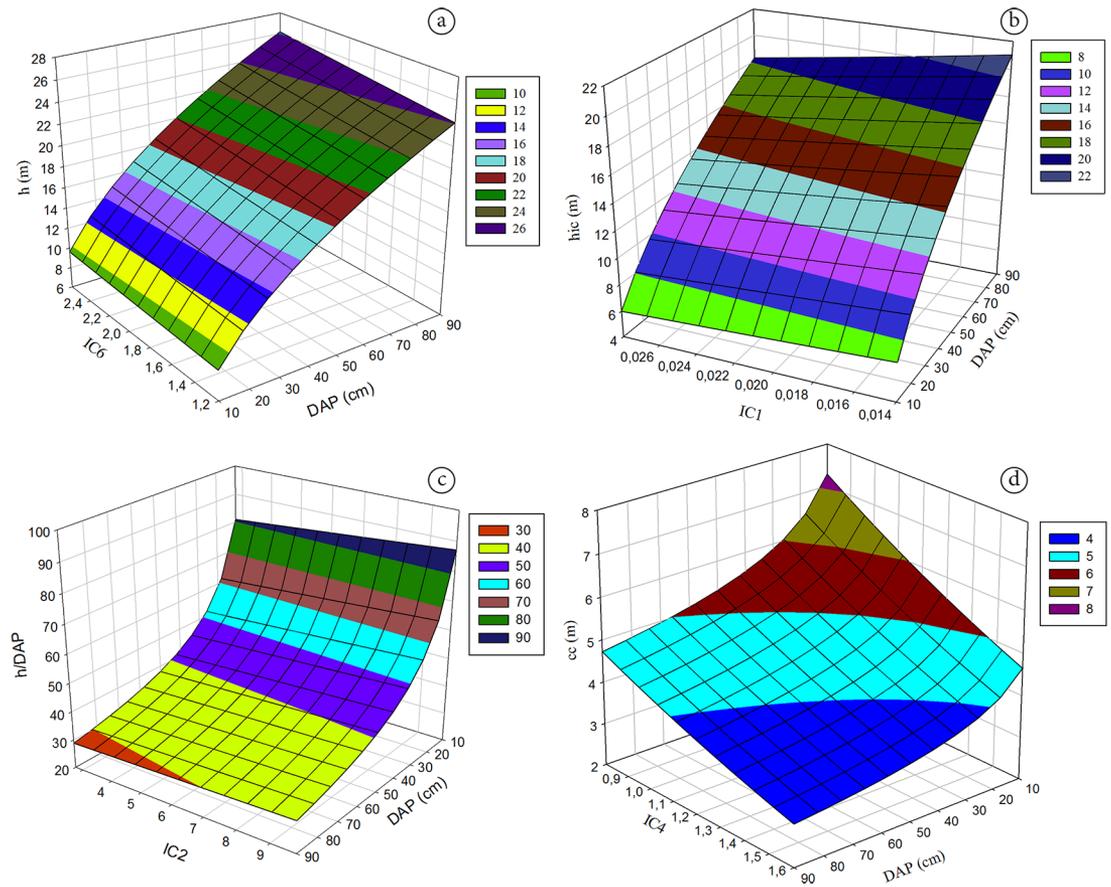


Figura 2. Superfície de resposta das variáveis dimensionais em função do DAP e índices de competição para araucária em floresta natural, em Lages, SC. Variáveis dimensionais: (a) h – altura; (b) hic – altura de inserção de copa, (c) – relação h/DAP; e (d) cc – comprimento de copa.

Figure 2. Response surface of dimensional variables in function of DBH and competition indices for araucaria in natural forest, Lages, SC. Dimensional variables: (a) h - height; (b) hic - crown insertion height, (c) - the relation h/DAP; and (d) cc - length crown.

da competição, nesse caso representada pelos menores valores de IC1, por serem inversamente proporcionais à variável dependente, ocorreu o aumento da altura de inserção de copa das árvores, refletindo, para uma mesma altura, uma maior recessão da copa.

O melhor modelo para a relação h/DAP foi obtido com a inclusão do IC2, que é independente da distância (Tabela 6), proporcionando aumento no valor de ajuste (R^2 em 5,9%) e redução do erro (Syx em $\pm 0,81$) em comparação com equação ajustada como função do DAP da árvore objetivo (Tabela 3).

No gráfico de superfície da variável h/DAP (Figura 2c) verificou-se que o aumento da competição, expresso pelo IC2, aumenta o valor da relação h/DAP. O resultado caracteriza a estabilidade das árvores,

de modo que, quando a relação é alta, indica que o crescimento em diâmetro é menor em comparação à altura, sendo a árvore menos estável. Essa relação pode ser utilizada como indicador de instabilidade da árvore contra ventos ou mesmo servir como referência para desbastes (Costa et al., 2016).

Para a variável dimensional comprimento de copa, o melhor modelo incluiu o IC4, que é independente da distância (Tabela 6). A inclusão da variável IC4 no modelo aumentou o valor de ajuste (R^2 em 19,5%) e diminuiu o erro (Syx em $\pm 0,26$ m), quando comparada à mesma relação contendo apenas o DAP da árvore objetivo no modelo (Tabela 3).

No gráfico de superfície referente ao comprimento de copa (Figura 2d), constatou-se que, com o aumento

da competição, representado pelo IC4, ocorreu uma redução do comprimento de copa das árvores de araucária de forma mais acentuada, principalmente nas árvores situadas nas classes diamétricas inferiores a 30 cm.

O resultado confirma que, apesar do caráter ontogênico da espécie de modificar a forma geométrica da copa com o avanço da idade (Seitz, 1986), o efeito de competição reflete-se diretamente no comprimento de copa, logo variáveis de tamanho da copa são importantes medidas de vigor (Assmann, 1970) sendo, muitas vezes, essenciais para utilização em modelos de mortalidade, crescimento e produção florestal (Weiskittel et al., 2011).

4. CONCLUSÕES

Não é possível usar uma única equação de regressão para estimar as variáveis altura total, altura de inserção de copa, relação h/DAP e comprimento de copa entre o grupo de árvores sem competição e com competição em floresta natural, sendo necessário o emprego de equações independentes para se obter maior precisão nas estimativas.

A inclusão da variável índice de competição nos modelos para estimar a altura, a altura do ponto de inserção de copa, a relação h/DAP e o comprimento de copa melhora o ajuste e a precisão das equações dimensionais. A diminuição da competição favorece o aumento do comprimento de copa e uma redução da altura do ponto de inserção de copa de araucária em floresta natural. As equações ajustadas podem ser usadas no auxílio a atividades silviculturais de araucária em áreas de ocorrência natural.

STATUS DA SUBMISSÃO

Recebido: 7 dez., 2015

Aceito: 21 abr., 2016

AUTOR(ES) PARA CORRESPONDÊNCIA

Emanuel Arnoni Costa

Departamento de Ciências Florestais, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Av. Roraima, 1000, Cidade Universitária, Bairro Camobi, CEP 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil
e-mail: emanuelarnonicost@hotmail.com

REFERÊNCIAS

Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JLM, Sparovek G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 2013; 22(6): 711-728. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

Assmann E. *The principles of forest yield study*. Oxford: Pergamon Press; 1970. 506 p.

Contreras MA, Affleck D, Chung W. Evaluating tree competition indices as predictors of basal area increment in western Montana forests. *Forest Ecology and Management* 2011; 262(11): 1939-1949. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2011.08.031>.

Corona P, Ferrara A. Individual competition indices for conifer plantations. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 1989; 27(1-4): 429-437. [http://dx.doi.org/10.1016/0167-8809\(89\)90103-5](http://dx.doi.org/10.1016/0167-8809(89)90103-5).

Costa EA, Finger CAG, Cunha TA. Influência da posição sociológica na relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia*. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* 2014; 9(1): 110-116. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v9i1a3201>.

Costa EA, Finger CAG, Fleig FD. Influência da posição social nas relações morfométricas de *Araucaria angustifolia*. *Ciência Florestal* 2016; 26(1): 225-234. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509821116>.

Daniels RF, Burkhart HE, Clason TR. A comparison of competition measures for predicting growth of loblolly pine trees. *Canadian Journal of Forest Research* 1986; 16(6): 1230-1237. <http://dx.doi.org/10.1139/x86-218>.

Davies O, Pommerening A. The contribution of structural indices to the modelling of Sitka spruce (*Picea sitchensis*) and birch (*Betula* spp.) crowns. *Forest Ecology and Management* 2008; 256(1-2): 68-77. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2008.03.052>.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; 1999. 412 p.

Gill SJ, Biging GS, Murphy EC. Modeling conifer tree crown radius and estimating canopy cover. *Forest Ecology and Management* 2000; 126(3): 405-416. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00113-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00113-9).

Grote R. Estimation of crown radii and crown projection area from stem size and tree position. *Annals of Forest Science* 2003; 60(5): 393-402. <http://dx.doi.org/10.1051/forest:2003031>.

Hasenauer H, Monserud RA. A crown ratio model for Austrian forests. *Forest Ecology and Management* 1996; 84(1-3): 49-60. [http://dx.doi.org/10.1016/0378-1127\(96\)03768-1](http://dx.doi.org/10.1016/0378-1127(96)03768-1).

Hegyí F. A simulation model for managing jack-pine stands. In: Fries G, editor. *Growth models for tree and*

- stand population*. Stockholm: Royal College of Forestry; 1974. p. 74-90.
- Hess AF, Calgarotto AR, Pinheiro R, Wanginiak TCR. 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* 2010; 30(64): 337-345. <http://dx.doi.org/10.4336/2010.pfb.30.64.337>.
- Lorimer CG. Tests of age independent competition indices for individual trees in natural hardwood stands. *Forest Ecology and Management* 1983; 6(4): 343-360. [http://dx.doi.org/10.1016/0378-1127\(83\)90042-7](http://dx.doi.org/10.1016/0378-1127(83)90042-7).
- Milliken GA, Johnson FE. *Analysis of Messy Data Volume III: analysis of covariance*. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC; 2002. 605 p.
- Mugasha AG. Evaluation of simple competition indices for the prediction of volume increment of young jack pine and trembling aspen trees. *Forest Ecology and Management* 1989; 26(3): 227-235. [http://dx.doi.org/10.1016/0378-1127\(89\)90123-0](http://dx.doi.org/10.1016/0378-1127(89)90123-0).
- Pokharel B, Dech JP. Mixed-effects basal area increment models for tree species in the boreal forest of Ontario, Canada using an ecological land classification approach to incorporate site effects. *Forestry* 2012; 85(2): 255-270. <http://dx.doi.org/10.1093/forestry/cpr070>.
- Pommerening A, Maleki K. Differences between competition kernels and traditional size-ratio based competition indices used in forest ecology. *Forest Ecology and Management* 2014; 331: 135-143. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2014.07.028>.
- Radtke PJ, Westfall JA, Burkhart HE. Conditioning a distance-dependent competition index to indicate the onset of inter-tree competition. *Forest Ecology and Management* 2003; 175(1-3): 17-30. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00118-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00118-4).
- Rijal B, Weiskittel AR, Kershaw JA Jr. Development of height to crown base models for thirteen tree species of the North American Acadian Region. *Forestry Chronicle* 2012; 88(1): 60-73. <http://dx.doi.org/10.5558/tfc2012-011>.
- Rouvinen S, Kuuluvainen T. Structure and asymmetry of tree crowns in relation to local competition in a natural mature Scots pine forest. *Canadian Journal of Forest Research* 1997; 27(6): 890-902. <http://dx.doi.org/10.1139/x97-012>.
- Seitz RA. Crown development of *Araucaria angustifolia* in its natural environment during sixty years. In: Fujimori T, Whitehead D, editores. *Crown and canopy structure in relation to productivity*, Proceedings of an International Workshop held in Japan; 1986; Ibaraki, Japan. Ibaraki: Forestry and Forest Products Research Institute; 1986. p. 129-146.
- System Analysis Statistical – SAS. *The SAS System for Windows*. Cary: SAS Institute; 2004.
- Temesgen H, Lemay V, Mitchell S. Tree crown ratio models for multi-species and multi-layered stands of southeastern British Columbia. *Forestry Chronicle* 2005; 81(1): 133-141. <http://dx.doi.org/10.5558/tfc81133-1>.
- Thorpe HC, Astrup R, Trowbridge A, Coates KD. Competition and tree crowns: a neighborhood analysis of three boreal tree species. *Forest Ecology and Management* 2010; 259(8): 1586-1596. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2010.01.035>.
- Thurnher C, Klopff M, Hasenauer H. Forests in transition: a harvesting model for uneven-aged mixed species forests in Austria. *Forestry* 2011; 84(5): 517-526. <http://dx.doi.org/10.1093/forestry/cpr021>.
- Weiskittel AR, Hann DW, Kershaw JA, Vanclay JK. *Forest growth and yield modeling*. Chichester: Wiley-Blackwell; 2011. 415 p. <http://dx.doi.org/10.1002/9781119998518>.
- Wykoff WR. A basal area increment model for individual conifers in the northern Rocky Mountains. *Forest Science* 1990; 36(4): 1077-1104.
- Zhao D, Kane M, Borders BE. Crown ratio and relative spacing relationships for loblolly pine plantations. *Open Journal of Forestry* 2012; 2(3): 110-115. <http://dx.doi.org/10.4236/ojf.2012.23014>.