

**RELAÇÕES ENTRE AS DIMENSÕES DA COPA E A ALTURA DAS ÁRVORES DOMINANTES
EM POVOAMENTOS DE *Pinus taeda* L.**

**RELATIONSHIPS AMONG THE CROWN DIMENSIONS AND THE HEIGHT OF DOMINANT
TREES IN STANDS OF *Pinus taeda* L.**

Veridiana Padoin¹ César Augusto Guimarães Finger²

RESUMO

Com o objetivo de descrever e modelar as relações morfométricas entre o diâmetro de copa, a percentagem de copa, o comprimento de copa exposto à luz e a altura das árvores dominantes, em povoamentos de *Pinus taeda* L. foram amostradas 187 unidades amostrais do tipo proposto por Prodan, modificadas para 12 árvores, distribuídas sobre sítios bons e ruins. Em cada unidade amostral, foram identificadas duas árvores dominantes e medidas as dimensões do diâmetro à altura do peito, a altura total, os comprimentos de copa e de copa exposto a luz e, o diâmetro de copa sob oito raios. Os resultados permitiram concluir que o diâmetro de copa e o comprimento de copa exposto à luz crescem com o aumento da altura dominante sendo que as duas relações podem ser descritas com boa precisão estatística por um modelo matemático curvilíneo. A relação da percentagem de copa com a altura dominante apresenta alta significância estatística descrita por modelo curvilíneo decrescente, tendo sido identificados por análise de covariância três grupos distintos de curvas segundo o local de origem dos dados. A percentagem de copa diminui com o aumento da altura dominante.

Palavras-chave: morfometria; comprimento de copa; diâmetro de copa.

ABSTRACT

Aiming at describing and modeling the morphometric relationships among the crown diameter, the crown percentage, the length of the crown exposed to light and the height of the dominant trees in stand of *Pinus taeda* L., one hundred and eighty seven sample units were studied considering the type proposed by Prodan, modified for twelve trees, distributed on good and bad stands. In each sample unit, two dominant trees were identified and the dimensions of the diameter at breast height, the total height, the crown lengths and the length of crown exposed to light and the crown diameter under eight rays were measured. Results allowed concluding that the crown diameter and the length of the crown exposed to light grow with the increase of the dominant height, and the two relationships can be described with good statistical precision by a curvilinear mathematical model. The relationship of the crown percentage with the dominant height presented high statistical significance described by a decreasing curvilinear model, having been identified by analysis of covariance three different groups of curves according to the place of origin of the data. The crown percentage decreases with the increase of the dominant height.

Keywords: morphometry; crown length; crown diameter.

1. Engenheira Florestal, MSc., Doutoranda pelo 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). veridiana.padoin@uol.com.br

2. 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). finger@smail.ufsm.br

Recebido para publicação em 16/04/2009 e aceito em 19/11/2009.

INTRODUÇÃO

A determinação do espaço horizontal nas florestas e a sua relação com a dimensão das árvores têm sido preocupação de vários pesquisadores (DURLO *et al.*, 2004; NUTTO, 2001; NUTTO *et al.*, 2001; SCHNEIDER, 2004). Diversos índices obtidos entre as dimensões da copa e do tronco buscam descrever a capacidade de crescimento e produção das árvores e da floresta. Em especial as relações entre diâmetro de copa, altura e diâmetro da árvore e, diâmetro e comprimento de copa, são muito importantes nos estudos de competição em povoamentos florestais, sustentando futuras decisões sobre desbaste.

Diante disso, concretiza-se a importância da determinação das dimensões de copa para fins de manejo. Uma dessas variáveis é a densidade de copas ou percentagem de cobertura que pode ser facilmente determinada por fotografias aéreas ou visualmente por terra, porém, nesse caso, ocorre a tendência natural de subestimar seus valores (PRODAN *et al.*, 1997). Outra dimensão que também pode descrever a capacidade de crescimento é o comprimento da copa, o qual é dividido em comprimento exposto à luz solar e comprimento de copa sombreada. A projeção de copa ou área de cobertura é determinada medindo-se de quatro a oito raios sendo o diâmetro médio expresso pelo dobro do raio médio.

Na descrição da competição do povoamento pode ser empregada, além do comprimento e diâmetro de copa: a altura, o diâmetro a altura do peito, a posição sociológica, entre outros, originando diferentes índices, conforme a disponibilidade de dados. Entretanto, a quantificação da dimensão das copas requer muito tempo quando comparado com a obtenção de variáveis de fácil medição como o diâmetro a altura do peito. (SCHNEIDER e FINGER, 2000).

Conforme Sterba (2006), a percentagem de copa não depende da posição sociológica em florestas de mesma idade e espécie e, sim, da altura das árvores. Portanto, quando se executa um desbaste, a recuperação das copas remanescentes ocorre lentamente com o crescimento em altura, nos indicando a importância de se relacionar as dimensões da copa com a altura das árvores.

Os estudos de morfologia de copas realizados por Assmann (1970) quantificaram a eficiência das copas quanto ao incremento volumétrico da árvore ficando demonstrada a maior viabilidade de copas longas e estreitas para o crescimento da árvore. Copas

estreitas permitem ainda aumentar o número de árvores por unidade de área aumentando, assim, o volume de madeira a ser produzido por hectare.

A pressão lateral exercida pelas demais árvores do povoamento promove a redução no comprimento da copa, como também evita a expansão lateral dos galhos diminuindo a área de projeção de copa. Em decorrência desses fatores, geralmente, as árvores dominantes com copa estreita são aquelas de maior eficiência (STERBA, 2006).

O objetivo desse trabalho foi descrever e modelar as relações morfométricas entre o diâmetro de copa, a percentagem de copa, o comprimento de copa exposto à luz e a altura das árvores dominantes, em povoamentos de *Pinus taeda* L. nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Neste estudo, foram amostradas árvores dominantes por possuírem copa bem desenvolvida e exposta ao sol formando o estrato superior da floresta.

MATERIAL E MÉTODOS

Características dos locais de amostragem

Os dados foram coletados em florestas localizadas nos municípios de: Cambará do Sul, São Francisco de Paula, Distrito de Tainhas, Distrito dos Kroeff no estado do Rio Grande do Sul e de Bocaína do Sul, Correia Pinto, Curitibaanos, Lages, Otacílio Costa, Ponte Alta do Norte e Santa Cecília no estado de Santa Catarina

Conforme Nimer (1989), a altitude dos locais de coleta varia de 884 metros nas cidades do Planalto Catarinense, a 900 metros nos municípios do Planalto do Rio Grande do Sul. O clima predominante do Planalto do Rio Grande do Sul e do Planalto Catarinense é subtropical do tipo Cfb com inverno frio e verão ameno resultando em temperatura média anual fria (CLIMA BRASILEIRO, 2007).

Segundo Streck *et al.* (2002), na região dos Campos de Cima da Serra, localizada no Planalto do rio Grande do Sul, predominam os Cambissolos rasos a profundos, ditos Cambissolos Hísticos e Húmicos com predominância de relevo ondulado a forte ondulado.

De acordo com Potter *et al.* (2004), no Planalto Catarinense, a associação predominante é de solos Cambissolo Álico Húmico de textura argilosa e Cambissolo Álico Latossólico também com textura argilosa, e relevo suave ondulado. A vegetação predominante nos Campos de Cima da Serra é a Floresta

Ombrófila Mista e extensos campos secundários formados por gramíneas (AMBIENTE BRASIL, 2006).

As florestas subtropicais perenifólias que ocorrem no Planalto Catarinense se caracterizam por suas essências serem mais resistentes ao frio. Essa floresta é constituída por três estratos, sendo o superior integrado por araucária, imbuia, canela, cedro e outras espécies folhosas de grande porte; o médio, por podocarpus, erva-mate, bracatinga e guaramirim; e o inferior, por ervas, arbustos, fetos arbóreos e samambaias (POTTER *et al.*, 2004).

Unidades amostrais

As florestas amostradas tinham idade entre 5 e 33 anos, cobrindo alturas entre 5 e 40 metros. Sendo que 187 unidades amostrais temporárias foram instaladas utilizando o Método de Prodan (1968) modificado para 12 árvores, e em cada amostra foram selecionadas duas árvores dominantes sendo o centro da parcela uma dessas árvores. Partindo desta, foram consideradas as 11 árvores mais próximas como pertencentes à unidade amostral, sendo seu raio determinado pela distância entre o centro da unidade (centro da árvore dominante) e o centro da 12ª árvore (a mais distante).

As árvores dominantes foram selecionadas seguindo as características fenotípicas propostas por Kageyama e Fonseca (1979) em metodologia para seleção de árvores superiores da espécie *Pinus taeda*. A seleção visual baseou-se nas características quanto à forma do fuste (cilíndrico e retilíneo), o vigor, a copa sem bifurcação, não danificada, pequena, estreita, densa, evitando ramos grossos.

As unidades amostrais mensuradas foram, prioritariamente, alocadas em florestas que se encontravam em competição. Florestas desbastadas só foram selecionadas para amostragem se transcorrido um período mínimo de dois anos após o desbaste, quando as árvores da floresta já estivessem em processo de competição.

Medição das variáveis dendrométricas

A distância entre as árvores em cada unidade amostral foi medida com trena tomando como referência o centro de seus troncos. O diâmetro à altura do peito (DAP) foi medido com fita diamétrica e a altura total das árvores (h) com o hipsômetro Vertex. O diâmetro de copa (Dc) foi determinado sob oito raios e ângulos fixos entre eles, com o auxílio de fita

métrica e hipsômetro de Suunto, que forneceu o ponto exato da projeção da borda da copa no solo indicando o fim do raio medido. O primeiro raio foi tomado partindo do ponto cardeal Norte, sendo que os seguintes foram medidos na direção Noroeste, Oeste, Sudoeste, Sul, Sudeste, Leste e Nordeste com o auxílio da bússola.

As árvores tiveram ainda o comprimento de copa total (l) e comprimento de copa exposto à luz (l_0) medidos, com o hipsômetro Vertex, no momento da determinação da altura.

Para o presente estudo, foram consideradas as medições das duas árvores dominantes de cada unidade amostral, totalizando 384 árvores medidas em 187 unidades amostrais.

Após a determinação das variáveis a campo, foram calculadas as seguintes variáveis:

a) Diâmetro de copa (Dc): calculado pela média aritmética dos oito raios de copa, em metros:

$$Dc = 2R_c$$

Em que: Dc = diâmetro de copa; R_c = raio médio da copa.

b) Percentagem de copa (P_c): calculado pela razão entre o comprimento de copa total e a altura total das árvores:

$$P_c = (l / h_{dom}) * 100$$

Em que: P_c = percentagem de copa; l = comprimento total de copa; h_{dom} = altura total da árvore dominante.

Modelagem

A modelagem foi realizada pelo pacote estatístico SAS (*Statistical Analysis System*) versão 8.0, tendo como modelo $Y = b_0 + b_1X_1$. As variáveis dependentes e independentes foram transformadas para a forma logarítmica, quadrática e inversa com o propósito de encontrar o modelo de melhor ajuste. Como variáveis dependentes foram utilizadas o diâmetro de copa, a percentagem de copa e comprimento de copa exposto à luz em função da variável independente altura dominante.

O procedimento de regressão ponderada foi utilizado nas equações de regressão resultando em modelos com maior precisão, pois as equações não ponderadas revelaram problemas na variância dos resíduos. O peso (W_i) utilizado para corrigir a heterogeneidade da variância da variável dependente foi o inverso da altura dominante ($W_i = 1/h_{dom}$), quando a variância da variável dependente foi proporcional a h_{dom} , e o inverso da altura dominante

ao quadrado ($W_i = 1/h_{dom}^2$), quando a variância da variável dependente foi proporcional à altura dominante ao quadrado (h_{dom}^2).

Ajuste e seleção dos modelos

No ajuste das equações, foi utilizado, primeiramente, todos os pares de dados sem distinção de local, idade e densidade do povoamento. Após os resultados da análise da covariância foram ajustadas equações para novos conjuntos de dados separados por local de coleta, o que é melhor explicado no item a seguir.

A equação selecionada foi a que apresentou maior coeficiente de determinação ajustado (R_{aj}^2), menor coeficiente de variação (CV), maior valor de F calculado, maior valor do Qui-quadrado (χ^2). Além disso, na seleção do melhor modelo matemático, foi analisada a distribuição gráfica dos resíduos em função dos valores estimados para verificar o ajuste da equação em toda a amplitude dos dados observados. Sendo assim, o modelo matemático que apresentou a menor variação nos resíduos foi o selecionado.

Comparação dos modelos de cada local

Na análise de covariância, foram realizados dois testes de hipóteses: o primeiro para verificar a existência de diferença de inclinação entre as regressões e o segundo para verificar a existência de níveis entre as regressões.

O teste foi realizado com uso da variável Dummy associada à variável discreta "Local". A variável Dummy descreveu a necessidade de

estratificação dos dados sendo representada por Dummy 1 (Local 1, Cambará do Sul, RS); Dummy 2 (Local 2, Otacílio Costa, SC) e Dummy 3 (Local 3, São Francisco de Paula, RS). Foi verificado, pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade de erro, se o modelo selecionado pode ou não ser ajustado para todos os pares de dados sem distinção de "Local". Para fins de estudo, foram considerados como Local 1 a cidade de Cambará do Sul e Distrito dos Kroeff, como Local 2 São Francisco de Paula e Distrito de Tainhas, e como Local 3 Otacílio Costa, Bocaína do Sul, Correia Pinto, Curitibaanos, Lages, Ponte Alta do Norte e Santa Cecília.

Primeiramente foi observada a significância da estatística F relacionada à interação " $h_{dom} * Local$ ", para verificar a hipótese de igualdade de inclinação das regressões dos Locais 1 e 2 em relação ao Local 3. Em seguida, foi observada a significância de nível das regressões dos Locais 1 e 2 em relação ao Local 3.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Relação do diâmetro da copa com a altura dominante

Os modelos calculados para descrever a relação entre o diâmetro da copa com a altura dominante, e os correspondentes coeficientes e estatísticas de ajuste e precisão como R_{aj}^2 , CV, valor de F calculado e valor do χ^2 , estão relacionados na Tabela 1. Com base nas estatísticas a equação selecionada foi a de número 9, sobretudo por apresentar um elevado valor de F calculado.

TABELA 1: Modelos de regressão e parâmetros estatísticos testados para descrever o diâmetro de copa (Dc) em função da altura dominante.

TABLE 1: Regression models and statistical parameters tested to describe the crown diameter (Dc) in function of the dominant height.

| Eq. | Y | X | W_i | b_0 | b_1 | b_2 | R_{aj}^2 | CV (%) | F | χ^2 |
|-----|-----------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|----------------|----------------|----------|-------------|-------------|-------------------|----------|
| 1 | $\ln(Dc)$ | $(\log(h_{dom}^3))^2$ | $1/h_{dom}^2$ | 0,73657 | 0,04404 | | 0,59 | 0,72 | 529,068,25 | |
| 2 | $\log(Dc)$ | $(\log(h_{dom}^3))^2$ | $1/h_{dom}^2$ | 0,31989 | 0,01913 | | 0,59 | 0,72 | 529,063,58 | |
| 3 | $\ln(Dc)$ | $h_{dom} e h_{dom}^2$ | $1/h_{dom}^2$ | 0,71748 | 0,04697 | -0,00058 | 0,58 | 0,73 | 261,298,34 | |
| 4 | $\ln(Dc)$ | h_{dom} | $1/h_{dom}$ | 0,94168 | 0,02163 | | 0,56 | 2,85 | 474,288,48 | |
| 5 | $\ln(Dc)$ | h_{dom}^2 | $1/h_{dom}^2$ | 0,90332 | 0,02354 | | 0,56 | 0,74 | 477,628,6 | |
| 6 | $\ln(Dc)$ | h_{dom}^2 | $1/h_{dom}$ | 1,14843 | 0,00047 | | 0,51 | 3,02 | 386,289,28 | |
| 7 | $\ln(Dc)$ | $\ln(h_{dom}) e (\ln(h_{dom}))^2$ | $1/h_{dom}^2$ | -0,08814 | 0,61639 | -0,03678 | 0,59 | 0,72 | 272,578,32 | |
| 8 | $\ln(Dc)$ | $\ln(h_{dom})$ | $1/h_{dom}$ | 0,18699 | 0,41199 | | 0,58 | 2,79 | 513,558,26 | |
| 9 | $\ln(Dc)$ | $\ln(h_{dom})$ | $1/h_{dom}^2$ | 0,18054 | 0,41438 | | 0,59 | 0,72 | 544,698,25 | |
| 10 | $\ln(Dc)$ | $(\ln(h_{dom}))^2$ | $1/h_{dom}^2$ | 0,73657 | 0,07476 | | 0,59 | 0,72 | 529,068,25 | |

Em que: Eq. = Equação; Y = variável dependente; Dc = diâmetro de copa; X = variável independente; h_{dom} = altura dominante; log = logaritmo decimal; ln = logaritmo neperiano; W_i = peso de ponderação; b_0 = coeficiente linear; b_1 e b_2 = coeficientes angulares; R_{aj}^2 = coeficiente de determinação ajustado; CV (%) = coeficiente de variação em percentagem; F = Valor de F calculado; χ^2 = estatística do Qui-quadrado.

Comparando os dados observados e ajustados de diâmetro de copa e a altura dominante apresentado na Figura 1, verificou-se que árvores com maior altura dominante apresentaram maior diâmetro de copa permitindo afirmar que nos povoamentos mais velhos, as copas são mais largas e necessitam de maior espaço de crescimento.

Os pontos da Figura 1 representam o espaço ocupado pelas copas das árvores dominantes permitindo determinar o número de árvores com essas dimensões que podem ser estocadas para cada dimensão da altura dominante. Dessa forma, pode-se determinar o número de árvores ideais por hectare e, com isso, a intensidade do desbaste tendo como referência a altura dominante.

Segundo Assmann (1970), o espaço médio disponível para o crescimento de uma árvore num povoamento varia inversamente com o número de árvores por hectare e diretamente com o diâmetro médio das árvores, pois, com o aumento do diâmetro das árvores e conseqüentemente da altura, o tamanho médio das copas também aumenta junto com o espaço requerido para o crescimento.

O teste de hipótese exposto na Tabela 2, empregado para verificar a diferença de inclinação da curva de regressão entre os locais, mostrou

diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade, do Local 2 em relação aos Locais 1 e 3. No teste para verificação de níveis comuns, verificou-se que não houve diferença entre o Local 1 e o Local 3. Portanto, as curvas dos Locais 1 e 3 são coincidentes e paralelas.

O ajuste de regressões independentes para os dois grupos indicados pela análise da covariância (Tabela 2) mostrou que o coeficiente de determinação baixou de 0,59 (conjunto único dos dados – Tabela 1) para 0,52 (conjunto dos dados das florestas de Cambará e São Francisco de Paula) e 0,53 (das florestas de Otacílio Costa – Tabela 3). Porém, esse valor é maior que o encontrado por Durlo (2001) que obteve valor de $R^2 = 0,37$, utilizando a mesma equação, mas para espécie folhosa (Tabela 3). O emprego de equações independentes por local não acarretou mudanças de R^2 e CV quando comparado com a regressão com um conjunto único de dados.

Nutto *et al.* (2001), utilizando os parâmetros da copa para avaliar o espaço vital em povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm., encontraram, no ajuste da equação $DC = 1,503 + 0,003455 * DAP^2$, valores de R^2 de 0,48 e CV de 22,43%. Comparando-se esses valores com os do presente estudo, verifica-se que a equação logarítmica mostrou melhores parâmetros.

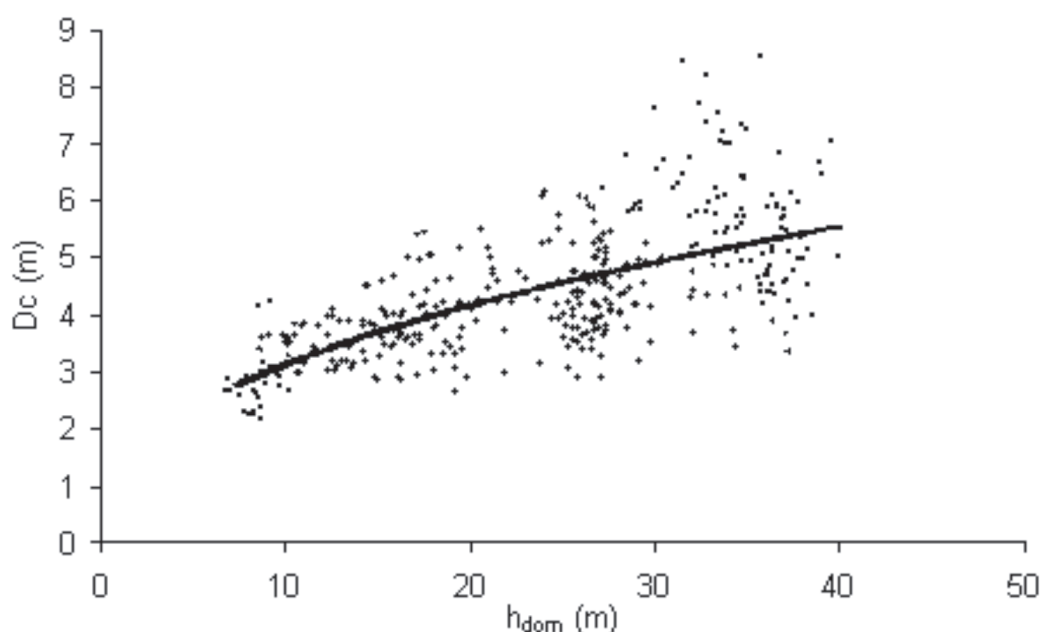


FIGURA 1: Curva de regressão do diâmetro de copa (Dc) em função da altura dominante para os três locais de amostragem.

FIGURE 1: Regression curve of the crown diameter (Dc) in function of the dominant height for the three sample places.

TABELA 2: Teste de hipótese para inclinação e nível entre as regressões de cada local para a variável diâmetro de copa (Dc).

TABLE 2: Hypothesis test for inclination and level among the regressions of each place for the variable crown diameter (Dc).

| FV | GL | SQ | QM | Valor de F | Pr > F |
|--------------------------|-----|--------|--------|------------|--------|
| Modelo | 5 | 0,0470 | 0,0094 | 115,01 | <,0001 |
| Erro | 368 | 0,0301 | 0,0001 | - | - |
| Ln(h _{dom}) | 1 | 0,0458 | 0,0458 | 560,35 | <,0001 |
| Local 1 (D1) | 1 | 0,0001 | 0,0001 | 0,57 | 0,4492 |
| Local 2 (D2) | 1 | 0,0006 | 0,0006 | 6,89 | 0,0090 |
| Local 3 (D3) | 0 | 0,0000 | - | - | - |
| Ln(h _{dom})*D1 | 1 | 0,0000 | 0,0000 | 0,26 | 0,6123 |
| Ln(h _{dom})*D2 | 1 | 0,0006 | 0,0006 | 6,97 | 0,0086 |
| Ln(h _{dom})*D3 | 0 | 0,0000 | - | - | - |
| Total | 373 | 0,0770 | - | - | - |

Em que: FV = Fonte de Variação; GL = Graus de Liberdade; SQ = Soma de Quadrados; QM = Quadrado Médio; Pr > F = Probabilidade de significância para F; Ln = logaritmo neperiano; h_{dom} = altura dominante; D1 = Cambará do Sul; D2 = Otacílio Costa; D3 = São Francisco de Paula.

TABELA 3: Parâmetros estatísticos da equação ajustada por local para a variável diâmetro de copa.

TABLE 3: Statistical parameters of the adjusted equation per place for the variable crown diameter.

| Local | b ₀ | b ₁ | R ² | CV (%) |
|---|----------------|----------------|----------------|--------|
| Cambará do Sul e São Francisco de Paula | 0,0507 | 0,4718 | 0,52 | 1,02 |
| Otacílio Costa | 0,1967 | 0,4031 | 0,53 | 0,50 |

Em que: b₀ = coeficiente linear; b₁ = coeficiente angular; R² = coeficiente de determinação; CV (%) = coeficiente de variação em percentagem.

Relação da percentagem de copa com a altura dominante

O ajuste da equação de regressão da percentagem de copa em função da altura dominante

TABELA 4: Modelos de regressão e parâmetros estatísticos testados para descrever a percentagem de copa (Pc) em função da altura dominante.

TABLE 4: Regression models and statistical parameters tested to describe the crown percentage (Pc) in function of the dominant height.

| Eq. | Y | X | W _i | b ₀ | b ₁ | b ₂ | R ² _{aj.} | CV (%) | F | χ ² |
|-----------|---------------|--|--------------------------------------|----------------|-----------------|----------------|-------------------------------|-------------|---------------|----------------|
| 1 | Pc | 1/ln(h _{dom}) | 1/h _{dom} | -17,15157 | 163,11606 | | 0,62 | 4,47 | 619,73 | 653,61 |
| 2 | Pc | 1/ln(h _{dom}) | 1/h _{dom} ² | -13,22525 | 152,96788 | | 0,60 | 1,02 | 564,56 | 655,56 |
| 3 | Ln(Pc) | ln(h _{dom} ²) | 1/h _{dom} ² | 5,21035 | -0,26846 | | 0,61 | 0,30 | 582,84 | 6,95 |
| 4 | log(Pc) | ln(h _{dom} ³) | 1/h _{dom} ² | 2,26282 | -0,07773 | | 0,61 | 0,30 | 582,84 | 3,02 |
| 5 | log(Pc) | h _{dom} | 1/h _{dom} ² | 1,85954 | -0,01347 | | 0,60 | 0,31 | 549,98 | 3,30 |
| 6 | Ln(Pc) | h _{dom} e h _{dom} ² | 1/h _{dom} ² | 4,51570 | -0,06049 | 0,00074 | 0,62 | 0,30 | 300,73 | 6,98 |
| 7 | Ln(Pc) | h _{dom} | 1/h _{dom} ² | 4,28174 | -0,03101 | | 0,60 | 0,31 | 549,98 | 7,61 |
| 8 | Ln(Pc) | ln(h _{dom}) e (ln(h _{dom})) ² | 1/h _{dom} ² | 4,51500 | -0,01413 | -0,09517 | 0,61 | 0,30 | 294,94 | 7,06 |
| 9 | Ln(Pc) | ln(h _{dom}) | 1/h _{dom} ² | 5,21035 | -0,53693 | | 0,61 | 0,30 | 582,84 | 6,95 |
| 10 | Ln(Pc) | (ln(h_{dom}))² | 1/h_{dom}² | 4,49609 | -0,09773 | | 0,61 | 0,30 | 591,47 | 7,06 |

Em que: Eq. = Equação; Y = variável dependente; Pc = percentagem de copa; X = variável independente; h_{dom} = altura dominante; log = logaritmo decimal; ln = logaritmo neperiano; W_i = peso de ponderação; b₀ = coeficiente linear; b₁ e b₂ = coeficientes angulares; R²_{aj.} = coeficiente de determinação ajustado; CV (%) = coeficiente de variação em percentagem; F = Valor de F calculado; -² = estatística do Qui-quadrado.

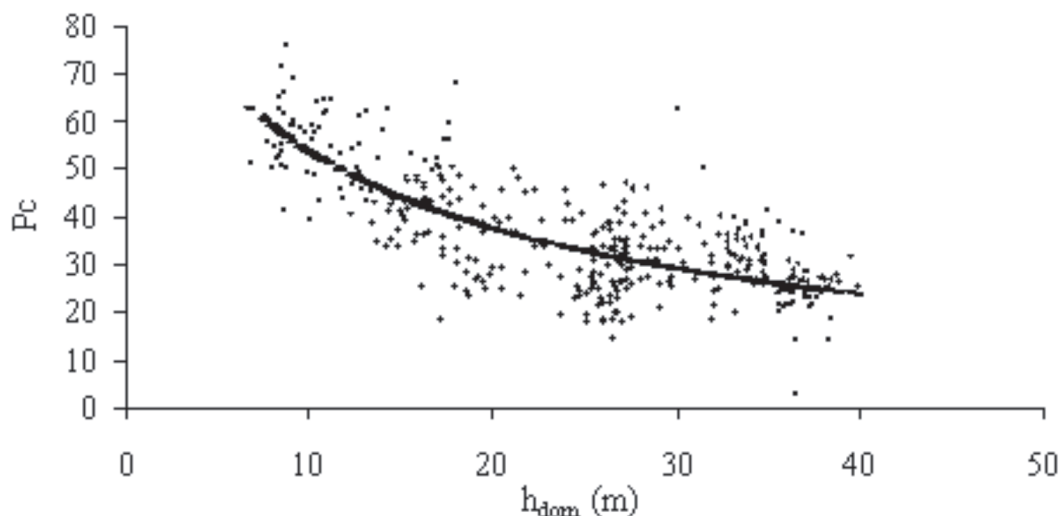


FIGURA 2: Curva de regressão da percentagem (Pc) de copa em função da altura dominante para os três locais de amostragem.

FIGURE 2: Regression curve of the percentage (Pc) of crown in function of the dominant height for the three sample places.

com dez modelos ponderados pelo inverso da altura dominante ($1/h_{dom}$), inverso da altura dominante ao quadrado ($1/h_{dom}^2$), mostrou que a equação de número 10 teve melhor ajuste, conforme os critérios de seleção apresentados na Tabela 4. A equação selecionada teve um bom ajustamento para os dados observados como pode ser visto na Figura 3.

Mesmo que a percentagem de copa se reduza com o aumento da altura dominante, conforme exposto na Figura 3, a competição pela luz se dá horizontal e não verticalmente no povoamento, ou seja, o diâmetro

de copa tem maior influência na competição pela luz do que a altura de copa. Desse modo, com o aumento da largura das copas e da altura dominante (Figura 1), as árvores de povoamentos com maior altura dominante deveriam sofrer desbaste de forma a comportar um número de árvores por hectare onde as copas não mais entrem em forte competição.

A análise de covariância apresentada na Tabela 5 mostrou que a interação entre a variável independente ($(\ln(h_{dom}))^2$) e a variável discreta (Local) foi significativa para todos os locais indicando que o

TABELA 5: Teste de hipótese para inclinação e nível entre as regressões por local para a percentagem de copa (Pc).
TABLE 5: Hypothesis test for inclination and level among the regressions per place for the crown percentage (Pc).

| FV | GL | SQ | QM | Valor de F | Pr > F |
|-------------------------|-----|---------|---------|------------|--------|
| Modelo | 5 | 0,08250 | 0,01650 | 140,11 | <,0001 |
| Erro | 368 | 0,04330 | 0,00010 | - | - |
| $(\ln(h_{dom}))^2$ | 1 | 0,07730 | 0,07730 | 655,97 | <,0001 |
| Local 1 (D1) | 1 | 0,00001 | 0,00001 | 0,06 | 0,8046 |
| Local 2 (D2) | 1 | 0,00290 | 0,00290 | 25,00 | <,0001 |
| Local 3 (D3) | 0 | 0,00000 | - | - | - |
| $(\ln(h_{dom}))^2 * D1$ | 1 | 0,00110 | 0,00110 | 9,71 | 0,0020 |
| $(\ln(h_{dom}))^2 * D2$ | 1 | 0,00120 | 0,00120 | 9,79 | 0,0019 |
| $(\ln(h_{dom}))^2 * D3$ | 0 | 0,00000 | - | - | - |
| Total | 373 | 0,12590 | - | - | - |

Em que: FV = Fonte de Variação; GL = Graus de Liberdade; SQ = Soma de Quadrados; QM = Quadrado Médio; Pr > F = Probabilidade de significância para F; Ln = logaritmo neperiano; h_{dom} = altura dominante; D1 = Cambará do Sul; D2 = Otacílio Costa; D3 = São Francisco de Paula.

ajuste da equação de regressão deve ser realizado para cada um dos locais de forma independente.

Segundo os dados da Tabela 6, não houve mudança significativa dos parâmetros estatísticos com o ajuste das regressões para cada local de amostragem, permanecendo o coeficiente de variação em torno de 0,30% e reduzindo o coeficiente de determinação de modo geral.

Valores de coeficiente de determinação ainda menores que os da Tabela 6 foram registrados por Durlo (2001) no estudo das relações morfométricas de copa de *Cabralea canjerana* (Well.) Mart. utilizando o modelo $\ln(Pc) = b_0 + b_1 * \ln(h)$. O autor encontrou um coeficiente de determinação de 0,06, muito baixo em relação aos encontrados neste estudo mostrando que o mesmo modelo matemático testado para a espécie folhosa citada tem melhor ajuste para coníferas como o *Pinus taeda*.

Estudos em povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm., realizados por Nutto *et al.* (2001), registraram valores de R^2 de 0,38 e CV de 14,79%

equação de regressão agrupados na Figura 3 mostram que com o crescimento em altura, o comprimento de copa exposta à luz cresce suavemente, e por esse motivo, foram encontrados valores baixos para o coeficiente de determinação ajustado. O mesmo resultado foi relatado por Tonini e Arco-Verde (2005), em estudos com espécies folhosas.

Ainda na Figura 3, partindo do terceiro intervalo de classe, o comprimento de copa exposta à luz cresce muito pouco tendendo a ser constante, pois como se tratam somente de árvores dominantes, não incluindo outras posições sociológicas, a variável comprimento de copa de luz tende a ser constante. Isso pode ser explicado pelo fato de que a competição pela luz entre as árvores dominantes se torna constante partindo de uma certa altura em árvores jovens não variando também o comprimento de copa exposta à luz.

O teste de hipótese para inclinação entre as regressões de cada local evidenciou que não houve interação entre os locais sendo as curvas paralelas,

TABELA 6: Parâmetros estatísticos das equações ajustadas por local para a variável percentagem de copa.
TABLE 6: Statistical parameters of the adjusted equations per place for the variable crown percentage.

| Local | b_0 | b_1 | R^2 | CV (%) |
|------------------------|--------|---------|-------|--------|
| Cambará do Sul | 4,7130 | -0,1273 | 0,58 | 0,28 |
| Otacílio Costa | 4,3619 | -0,0886 | 0,45 | 0,30 |
| São Francisco de Paula | 4,2905 | -0,0542 | 0,30 | 0,30 |

Em que: b_0 = coeficiente linear; b_1 = coeficiente angular; R^2 = coeficiente de determinação; CV (%) = coeficiente de variação em percentagem.

para a equação de percentagem de copa expressa por: $Pc = 2,528 + 0,221 * DAP$. Comparando os resultados com os valores apresentados por esses autores, nota-se que a variável altura dominante, utilizada no presente estudo, oferece maior ajuste para a equação do que a variável diâmetro à altura do peito utilizada pelos autores citados.

Relação do comprimento de copa exposta à luz com a altura dominante

No ajustamento da equação de regressão do comprimento de copa exposta à luz em função da altura dominante, foram analisados dez modelos ponderados (Tabela 7).

Segundo os critérios de seleção, conforme apresentados na Tabela 7, a melhor equação foi a número quatro.

Os valores observados e ajustados pela

conforme a Tabela 8. Ainda na Tabela 8, o teste de hipótese para níveis comuns mostrou diferença significativa entre os locais 2 e 3, ao nível de 1% de probabilidade de erro, sendo, portanto, as curvas de regressão dos locais 1 e 3 coincidentes.

Os dados das florestas de Cambará do Sul e São Francisco de Paula agrupados e os dados de Otacílio Costa em grupo distinto forneceram as estatísticas da Tabela 9. Os resultados mostraram o aumento do coeficiente de determinação ajustado para os dados de Cambará do Sul e São Francisco de Paula. Para o conjunto de dados de Otacílio Costa não ocorreu aumento do valor de R^2 , permanecendo igual a 0,04 com coeficiente de variação igual a 0,96.

A provável causa dos baixos valores encontrados para o coeficiente de determinação, sobretudo para a variável comprimento de copa exposta à luz, é a origem dos dados de diferentes cidades, diferentes sítios, idades e manejo aplicado.

TABELA 7: Modelos de regressão e parâmetros estatísticos testados para a seleção da equação comprimento de copa exposto à luz (lo) em função da altura dominante.

TABLE 7: Regression models and statistical parameters tested for the selection of the equation crown length exposed to light (lo) in function of the dominant height.

| Eq. | Y | X | W_i | b_0 | b_1 | b_2 | R^2_{aj} | CV (%) | F | χ^2 |
|----------|---------------|-------------------------------------|---------------------------------|----------------|------------------|----------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| 1 | lo | $1/h_{dom}^2$ | $1/h_{dom}^2$ | 3,75710 | -71,63534 | | 0,18 | 1,43 | 83,76 | 104,67 |
| 2 | log(lo) | $1/h_{dom}^2$ | $1/h_{dom}^2$ | 0,56004 | -8,99656 | | 0,19 | 1,16 | 86,36 | 9,83 |
| 3 | ln(lo) | $1/h_{dom}^2$ | $1/h_{dom}$ | 1,29044 | -20,83861 | | 0,13 | 4,85 | 56,02 | 22,63 |
| 4 | ln(lo) | $1/h_{dom}^2$ | $1/h_{dom}^2$ | 1,28955 | -20,71535 | | 0,19 | 1,16 | 86,36 | 22,64 |
| 5 | log(lo) | h_{dom} | $1/h_{dom}^2$ | 0,41360 | 0,00508 | | 0,13 | 1,20 | 57,55 | 10,33 |
| 6 | ln(lo) | h_{dom} e h_{dom}^2 | $1/h_{dom}^2$ | 0,68270 | 0,04568 | -0,00085 | 0,18 | 1,17 | 40,73 | 22,96 |
| 7 | ln(lo) | h_{dom} | $1/h_{dom}^2$ | 0,95235 | 0,01170 | | 0,13 | 1,20 | 57,55 | 23,78 |
| 8 | ln(lo) | $\ln(h_{dom})$ e $(\ln(h_{dom}))^2$ | $1/h_{dom}^2$ | -0,89546 | 1,30834 | -0,19761 | 0,18 | 1,16 | 43,43 | 22,65 |
| 9 | ln(lo) | $\ln(h_{dom})$ | $1/h_{dom}^2$ | 0,54830 | 0,22286 | | 0,16 | 1,17 | 74,01 | 23,03 |
| 10 | ln(lo) | $(\ln(h_{dom}))^2$ | $1/h_{dom}^2$ | 0,85506 | 0,03914 | | 0,15 | 1,18 | 68,44 | 23,27 |

Em que: Eq. = Equação; Y = variável dependente; lo = comprimento de copa exposto à luz; X = variável independente; h_{dom} = altura dominante; log = logaritmo decimal; ln = logaritmo neperiano; W_i = peso de ponderação; b_0 = coeficiente linear; b_1 e b_2 = coeficientes angulares; R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; CV (%) = coeficiente de variação em percentagem; F = Valor de F calculado; χ^2 = estatística do Qui-quadrado.

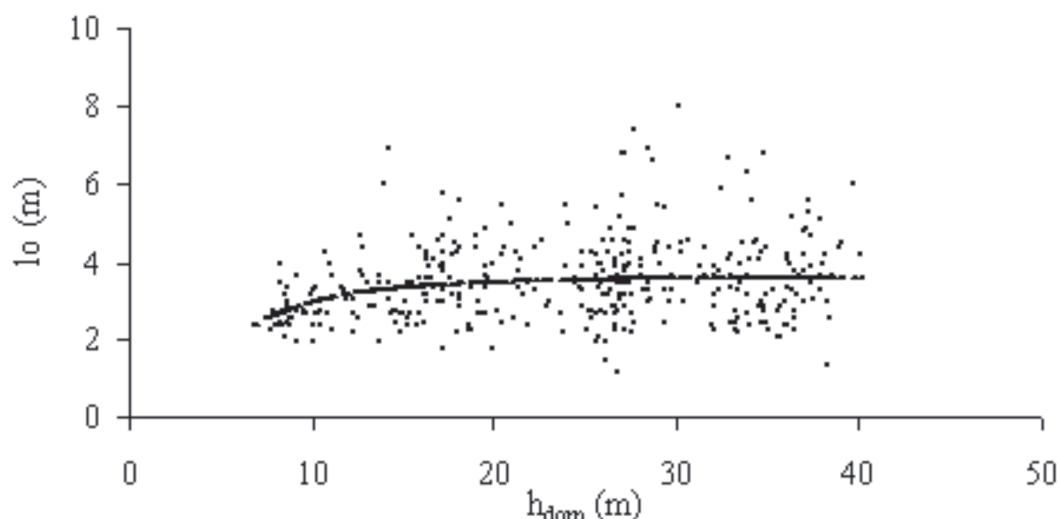


FIGURA 3: Curva de regressão do comprimento de copa exposta à luz (lo) em função da altura dominante para todos os locais de amostragem.

FIGURE 3: Regression curve of the crown length exposed to light (lo) in function of the dominant height for all the sample places.

Essa variação nos dados foi contornada pela regressão ponderada, e por isso, os coeficientes de variação resultaram em valores baixos.

CONCLUSÕES

O diâmetro de copa e o comprimento de copa exposto à luz crescem com o aumento da altura dominante sendo que as duas relações podem ser descritas com boa precisão estatística por um modelo

matemático curvilíneo.

A relação da percentagem de copa com a altura dominante apresenta alta significância estatística descrita por modelo curvilíneo decrescente, tendo sido separados três grupos distintos de curvas segundo o local de amostragem. A percentagem de copa diminui com o aumento da altura dominante.

As variáveis respostas que obtiveram melhor ajuste em relação à variável explicativa altura dominante foram o diâmetro de copa e a percentagem de copa.

TABELA 8: Teste de hipótese para inclinação e nível entre as regressões de cada local para a variável comprimento de copa exposto à luz (10).

TABLE 8: Hypothesis test for inclination and level among the regressions of each place for the variable Crown length exposed to light (10).

| FV | GL | SQ | QM | Valor de F | Pr > F |
|--|-----|--------|--------|------------|--------|
| Modelo | 5 | 0,0185 | 0,0037 | 22,26 | <,0001 |
| Erro | 368 | 0,0612 | 0,0002 | - | - |
| 1/(h _{dom}) ² | 1 | 0,0150 | 0,0150 | 90,31 | <,0001 |
| Local 1 (D1) | 1 | 0,0008 | 0,0008 | 4,55 | 0,0336 |
| Local 2 (D2) | 1 | 0,0020 | 0,0020 | 11,94 | 0,0006 |
| Local 3 (D3) | 0 | 0,0000 | - | - | - |
| 1/(h _{dom}) ² *D1 | 1 | 0,0005 | 0,0005 | 2,92 | 0,0882 |
| 1/(h _{dom}) ² *D2 | 1 | 0,0003 | 0,0003 | 1,59 | 0,2078 |
| 1/(h _{dom}) ² *D3 | 0 | 0,0000 | - | - | - |
| Total | 373 | 0,0798 | - | - | - |

Em que: FV = Fonte de Variação; GL = Graus de Liberdade; SQ = Soma de Quadrados; QM = Quadrado Médio; Pr > F = Probabilidade de significância para F; Ln = logaritmo neperiano; h_{dom} = altura dominante; D1 = Cambará do Sul; D2 = Otacílio Costa; D3 = São Francisco de Paula.

TABELA 9: Parâmetros estatísticos das equações calculadas por local para a variável comprimento de copa exposto à luz.

TABLE 9: Statistical parameters of the equations calculated per place for the variable length crown exposed to light.

| Local | b ₀ | b ₁ | R ² | CV (%) |
|---|----------------|----------------|----------------|--------|
| Cambará do Sul e São Francisco de Paula | 1,3345 | -23,9904 | 0,28 | 1,45 |
| Otacílio Costa | 1,2579 | -18,8177 | 0,04 | 0,96 |

Em que: b₀ = coeficiente linear; b₁ = coeficiente angular; R² = coeficiente de determinação; CV (%) = coeficiente de variação em porcentagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMBIENTE BRASIL. Florestal. Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br>>. Acesso em: 8 de novembro de 2006.

ASSMANN, E. **The Principles of Forest Yield Study**. München: BLV, 1970. 490 p.

CLIMA BRASILEIRO. Região Sul. Disponível em: <<http://www.climabrasileiro.hpg.ig.com.br/sul.htm>>. Acesso em: 2 de maio de 2007.

DURLO, M. A. Relações morfométricas para *Cabralea canjerana* (Well.) Mart. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 141-149, jan./jun. 2001.

DURLO, M. A. *et al.* Modelagem da copa de *Cedrella fissilis* Vellozo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 79-89, jul./dez. 2004.

KAGEYAMA, P. Y.; FONSECA, S. M. Metodologia para seleção e avaliação de árvores superiores de *Pinus taeda*.

Circular Técnica IPEF, Piracicaba, n. 55, 23 p. jul. 1979. NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989. 422 p.

NUTTO, L. Manejo do crescimento diamétrico de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Ktze. baseado na árvore individual. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 9-25, jul./dez. 2001.

NUTTO, L. *et al.* Utilização dos parâmetros da copa para avaliar o espaço vital em povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 42, p. 123-138. 2001.

POTTER, R. O. *et al.* **Solos do Estado de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 745 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n.46).

PRODAN, M., *et al.* **Mensura Forestal**. San José: GTZ, 1997. 561 p.

PRODAN, M. **Forest Biometric**. New York: Pergamon, 1968. 447 p.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. **Manejo**

Sustentado de Florestas Inequiâneas Heterogêneas.

Santa Maria: UFSM, 2000. 195 p.

SCHNEIDER, P. R. **Manejo Florestal:** Planejamento da Produção Florestal. Santa Maria: UFSM, 2004. 492 p.

STERBA, H. **Waldwachstumskunde:** Skriptum zur Lehrveranstaltung 420.020. Wien: Universität für Bodenkultur, Institut für Waldwachstumsforschung, 2006, 129 p.

STRECK, E. V. *et al.* **Solos do Rio Grande do Sul.** 1. ed. Porto Alegre: EMATER/RS, UFRGS, 2002. 107 p.

TONINI, H.; ARCO-VERDE, M. F. Morfologia da copa para avaliar o espaço vital de quatro espécies nativas da Amazônia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 7, p. 633-638, jul. 2005.