

ASPECTOS DENDROMÉTRICOS E SILVICULTURAIS DE UM POVOAMENTO DE *Cunninghamia lanceolata* NO SUL DO BRASIL

Mário Dobner Junior^{1*}, Paulo André Trazzi², Sebastião Amaral Machado³, Antonio Riouei Higa³

^{1*} Universidade Federal de Santa Catarina, Curitiba, Santa Catarina, Brasil - mario.dobner@ufsc.br

² University of Limerick, Limerick, Irlanda - patrazzi@gmail.com

³ Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil - samachado@ufpr.br, antonio.higa@gmail.com

Recebido para publicação: 18/10/2015 – Aceito para publicação: 28/11/2016

Resumo

A silvicultura de *Cunninghamia lanceolata* em sua região de origem (China) é amplamente difundida, em função do bom desenvolvimento e da qualidade da madeira para usos industriais diversificados. No Brasil, a espécie é considerada de grande potencial para o manejo florestal. O presente estudo teve como objetivo levantar aspectos dendrométricos e silviculturais de um povoamento puro de *C. lanceolata*, com 21 anos de idade e o ajuste de modelos hipsométricos, de volume individual e de afilamento. Confirmou-se o potencial silvicultural de *C. lanceolata* para a região de planalto do sul do Brasil. A espécie apresenta crescimento inicial lento, demorando cerca de quatro anos para o seu pleno estabelecimento. Entretanto, o incremento médio anual em volume é satisfatório ($28,1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), mesmo em condições de elevada competição ($65,3 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ e $1.278 \text{ árv. ha}^{-1}$). Os melhores ajustes foram obtidos para as equações de Trorey, Schumacher-Hall e Hradetzky, para estimar a altura total, volume individual e afilamento, respectivamente.

Palavras-chave: Manejo Florestal; Chinese fir; função de afilamento.

Abstract

Dendrometric and silvicultural aspects of a Cunninghamia lanceolata stand in southern Brazil. The silviculture of *Cunninghamia lanceolata* in its region of origin (China) is widespread, due to its fast growth and wood quality, suitable for multiple industrial uses. In Brazil, the species is considered of high potential for the forest management. The present study aimed to evaluate dendrometric and silvicultural aspects of a 21-years-old and pure *C. lanceolata* stand, as well as, the adjustment of hypsometric, volumetric and taper models. The results confirmed the silvicultural potential of *C. lanceolata* to the highlands of Southern Brazil. Although the species has a slow initial growth, taking about four years for establishment, the mean annual increment in volume is satisfactory ($28.1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), even on high competition conditions ($65.3 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ and $1.278 \text{ trees ha}^{-1}$). The best fittings were reached by the equations from Trorey, Schumacher-Hall and Hradetzky, for total height, individual volume and taper estimations, respectively.

Keywords: Forest Management; Chinese fir; taper function.

INTRODUÇÃO

Cunninghamia lanceolata (Lamb.) Hooker pertence à família Taxodiaceae e ocorre naturalmente nas regiões central e sul da China, além de Taiwan, Vietnam e Laos (EMBRAPA, 1988; MARCHIORI, 2005). No sul da China, ocorre nas regiões montanhosas em altitudes variando de 100 a 1.500 m. As áreas mais produtivas, porém, não ultrapassam os 500 m (LI; RITCHIE, 1999). É uma conífera de rápido crescimento (XIANGQING *et al.*, 2002), conhecida internacionalmente como ‘*Chinese fir*’ e considerada a espécie florestal mais importante do sul da China, tanto do ponto de vista econômico como ecológico, com mais de nove milhões de hectares plantados naquela região (LEI, 2005 *apud* XIANG *et al.*, 2009; LI; RITCHIE, 1999).

De acordo com Evans (2003), *Cunninghamia* está entre os quatro gêneros de coníferas mais plantados nos trópicos, juntamente com *Pinus*, *Cupressus* e *Araucaria*.

A silvicultura de *C. lanceolata* na sua região de origem é empregada há, pelo menos, 800 anos (LI; RITCHIE, 1999; XIANG *et al.*, 2009; WANG *et al.*, 2009). É cultivada em plantios monoespecíficos, com a queima dos resíduos pós-colheita, preparo de terreno, e o estabelecimento de um novo plantio. O uso do fogo tem como objetivo formar áreas abertas e favoráveis ao estabelecimento da nova rotação, resultando ainda a disponibilização de nutrientes, o controle da vegetação concorrente e a redução de pragas e doenças. Entretanto o uso contínuo de queimas pós-rotação tem acarretado diminuição da fertilidade do solo e, conseqüentemente, da produtividade (BI *et al.*, 2007). Agravante neste contexto é o fato da espécie possuir baixo retorno de nutrientes por deposição de serrapilheira (XIANGQING *et al.*, 2002).

A espécie apresenta intensa rebrota a partir de gemas dormentes, o que a torna uma das poucas coníferas possíveis de serem manejadas pelo sistema de talhadia (EMBRAPA, 1988; MARCHIORI, 2005). Segundo Li e Ritchie (1999), a condução da rebrota é uma prática importante na China. Entretanto, após os 80 anos de idade, as cepas apresentam forte redução do potencial de brotação.

Em função da brotação de cepa abundante e boa capacidade de enraizamento, plantios formados diretamente a partir de estacas (± 1 cm de diâmetro) são comuns (LI; RITCHIE, 1999).

A idade de corte de plantios na área de ocorrência natural da espécie é de 25 (XIANGQING *et al.*, 2002) a 30 anos (CHUNG *et al.*, 2008).

Plantios da espécie têm sido realizados também por pequenos produtores chineses, interessados no elevado valor de mercado da madeira (SHIRO *et al.*, 2007). Segundo Sun *et al.* (2012), toras com mais de 20 cm de diâmetro tiveram uma grande valorização nos últimos anos, aumentando o interesse por sistemas de manejo com desbastes.

A madeira possui densidade básica de $0,28 \text{ g cm}^{-3}$ (MARCHIORI, 2005) a $0,48 \text{ g cm}^{-3}$ (EMBRAPA, 1988), é uniforme e levemente aromática (MARCHIORI, 2005). Possui alta resistência ao apodrecimento (FREITAG; MORRELL, 2006) e aos insetos (MARCHIORI, 2005). Embora leve e macia, é considerada excelente para construções (casas, pontes, navios), além de ter boas propriedades para polpação (LI; RITCHIE, 1999). Motivos pelos quais é uma madeira valiosa no seu país de origem (CHUNG *et al.*, 2008).

Estudos recentes relatam ainda o potencial farmacológico de extrativos obtidos a partir de galhos e folhas de *C. lanceolata*, em função de propriedades anti-inflamatórias e analgésicas (XIN *et al.*, 2012).

No Brasil, EMBRAPA (1988) relatou produtividade de até $36 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em sítios bons. Segundo a mesma fonte, é uma espécie menos exigente e com maior produtividade que *Araucaria angustifolia* (Bert.) Kuntze e *Cryptomeria japonica* (L. F.) D. Don. Foi plantada comercialmente em Caieiras, SP (900 m), e em Camanducaia, MG (1.500 m). Em Santa Catarina, recomenda-se o plantio nas regiões frias, acima de 600 m, particularmente em solos de fertilidade média a boa.

Embora *C. lanceolata* seja considerada de grande potencial para o manejo florestal no sul do Brasil (EMBRAPA, 1988), há pouca informação sobre o crescimento da espécie em povoamentos puros ou condições próximas àquelas que seriam empregadas comercialmente e, principalmente, com a devida quantificação dendrométrica dos indivíduos e povoamentos. Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar aspectos dendrométricos e silviculturais de um povoamento puro de *C. lanceolata*, com 21 anos de idade e, assim, contribuir para o conhecimento do real potencial produtivo da espécie nas condições edafoclimáticas do planalto do sul do Brasil. Para tal, ajustou-se modelos hipsométricos, de volume individual e de afilamento.

MATERIAL E MÉTODOS

O povoamento de *Cunninghamia lanceolata* objeto de estudo foi implantado em 1990, logo após a derrubada e enleiramento manual de vegetação nativa. Localizado no município de Campo Belo do Sul, SC ($28^{\circ}01' \text{ S}$, $50^{\circ}52' \text{ O}$, 920 m de altitude), em área pertencente à empresa Florestal Gateados Ltda., onde o clima é, de acordo com a classificação de Köppen, do tipo Cfb, mesotérmico, subtropical úmido, sem estações secas definidas e com a ocorrência de geadas severas. O plantio das mudas produzidas em túbetes a partir de sementes sem origem definida, com espaçamento inicial de $2,5 \times 2,5 \text{ m}$ ($1.600 \text{ árv. ha}^{-1}$), totalizando 0,7 ha, recebeu roçadas anuais até o pleno estabelecimento das plantas, quando o sombreamento proporcionado pelas mesmas impediu o crescimento de vegetação concorrente. Todas as árvores foram podadas até seis metros de altura em diferentes intervenções. Nenhum desbaste foi realizado.

Uma unidade amostral com 900 m^2 foi instalada no centro do povoamento, onde medições anuais de dap (diâmetro a altura do peito, 1,30 m) foram realizadas de 1998 a 2011 com fita diamétrica. Em julho de 2011 foram derrubadas 30 árvores, dois indivíduos por classe diamétrica (amplitude de 2 cm) considerando toda a amplitude existente. Nestas, realizou-se cubagem rigorosa pelo método de Smalian, medindo-se o diâmetro a 0,2, 0,5, 1,0, 1,3, 1,5 m de altura e, a partir de então, em intervalos de 2 m, totalizando 377 pares de dados.

Para uma análise mais detalhada do crescimento ao longo do tempo em diferentes alturas, realizou-se uma análise de tronco completa (ANATRO). Discos transversais foram coletados na base (0,2 m) e ao longo do fuste em intervalos de 3 m até um diâmetro mínimo de 5 cm. Os discos foram secos em estufa e lixados, tendo a espessura dos anéis anuais de crescimento medida em quatro raios, distantes 90° entre si, sendo o primeiro a 45° do maior raio, não medido. Os discos foram digitalizados e os anéis medidos na imagem digital com o auxílio do software Image Pro Plus.

Avaliou-se também o comportamento das árvores dominantes, as 100 árvores de maior diâmetro por hectare (ASSMANN, 1970), medidas proporcionalmente em função da área da unidade amostral.

Com os dados obtidos foram ajustados modelos hipsométricos, de volume individual total, e de afilamento. Os modelos testados são apresentados na tabela 1.

Os modelos não lineares foram ajustados pelo método Marquardt.

Para o ajuste da função de Hradetzky foram testadas 43 diferentes potências, com a seleção das quatro de maior significância pelo método *stepwise forward*. Os ajustes foram realizados com o auxílio do software IBM SPSS 19® e 'R Studio'.

A seleção dos modelos com maior acurácia baseou-se no coeficiente de determinação ajustado para permitir a comparação de modelos com número de coeficientes diferentes ($R^2_{aj.}$) e no erro padrão da estimativa em porcentagem ($S_{yx} \%$). Não é recomendado avaliar a qualidade do ajuste de modelos não lineares com R^2 . Em função disto, o erro padrão da estimativa e a análise gráfica dos resíduos foi determinante na escolha do melhor modelo, bem como o valor de probabilidade para os parâmetros estimados. As equações para obtenção das estatísticas de ajuste dos modelos são apresentadas na tabela 1.

Tabela 1. Modelos testados para estimar altura, volume individual e afilamento das árvores de *C. lanceolata*. Equações para obtenção das estatísticas de qualidade o ajuste.
Table 1. Tested models for height, individual volume and taper estimation of *C. lanceolata* trees. Equations for the fitting quality statistics.

Altura			
Trorey (1932)	$h_t = \beta_0 + \beta_1 dap + \beta_2 dap^2 + \varepsilon_i$		
Stoffels (1953)	$h_t = \beta_0 dap^{\beta_1} + \varepsilon_i$		
Curtis (1967)	$\ln(h_t) = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{dap}\right) + \varepsilon_i$		
Volume individual			
Husch (1963)	$v_i = \beta_0 dap^{\beta_1} + \varepsilon_i$		
Spurr (1952)	$v_i = \beta_0 + \beta_1 (dap^2 h_t) + \varepsilon_i$		
Schumacher-Hall (1933)	$v_i = \beta_0 dap^{\beta_1} h^{\beta_2} + \varepsilon_i$		
Afilamento			
Kozak (1969)	$\frac{d_i}{dap} = \sqrt{\beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{h_t}\right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{h_t}\right)^2} + \varepsilon_i$		
Schöepfer (1965)	$\frac{d_i}{dap} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{ht}\right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^2 + \beta_3 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^3 + \beta_4 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^4 + \beta_5 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^5 + \varepsilon_i$		
Hradetzky (1976)	$\frac{d_i}{dap} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^{p1} + \beta_2 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^{p2} + \dots + \beta_n \left(\frac{h_i}{ht}\right)^{pn} + \varepsilon_i$		
$R^2 = 1 - \left(\frac{SQ_{res}}{SQ_{total}}\right)$	$R^2_{aj.} = 1 - \left\{ (1 - R^2) \left(\frac{n-1}{n-p-1}\right) \right\}$	$S_{yx} = \sqrt{\frac{SQ_{res}}{n-p}}$	$S_{yx} \% = \frac{S_{yx}}{\bar{x}} 100$

em que: v_i = volume individual da árvore i (m³); dap = diâmetro da árvore a 1,30 m de altura (cm); h_t = altura total da árvore (m); β_{is} = parâmetros dos modelos a serem estimados; \ln = logaritmo neperiano; d_i = diâmetro do fuste medido a uma altura h_i (cm); h_i altura medida ao longo do fuste (m); p_{is} = potências do polinômio de Hradetzky a serem selecionadas; ε_i = erro; SQ_{res} = soma de quadrado dos resíduos; SQ_{total} = soma de quadrado total; n = número de observações utilizado no ajuste e p = número de coeficientes do modelo.

RESULTADOS

Características do povoamento

As características dendrométricas do povoamento de *C. lanceolata*, em três diferentes idades, são apresentadas na tabela 2. Os volumes apresentados para a idade 21 anos foram obtidos com a equação hipsométrica de Trorey e a equação de volume individual de Schumacher-Hall, apresentadas a seguir.

Constatou-se que o crescimento diamétrico médio ao longo dos 21 anos analisados foi de 1,2 cm ano⁻¹. Para as árvores dominantes (d_{100}), este crescimento foi de 1,7 cm ano⁻¹.

Tabela 2. Características dendrométricas nas idades 10, 15 e 21 anos para o povoamento de *C. lanceolata* cultivado no sul do Brasil.

Table 2. Dendrometric characteristics at ages 10, 15 and 21 years for the *C. lanceolata* stand grown in South Brazil.

Idade (anos)	Densidade (ár.v.ha ⁻¹)	G (m ² ha ⁻¹)	Dap (cm)	d ₁₀₀ (cm)	Volume (m ³ ha ⁻¹)	IMA (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)
10	1.500	7,5	7,6	12,1	-	-
15	1.444	37,9	17,6	25,2	-	-
21	1.278	65,3	24,8	34,7	590,0	28,1

G: área basal; d₁₀₀: diâmetro das árvores dominantes; IMA: incremento médio anual.

A área basal (G) atingiu valor expressivo aos 21 anos de idade (65,3 m²ha⁻¹), não apresentando tendência de estagnação (Figura 1).

Apesar de um crescimento em diâmetro não muito expressivo, a produtividade do povoamento atingiu o valor de 28,1 m³ha⁻¹ano⁻¹.

A partir da análise de tronco, foi possível construir o perfil médio dos anéis anuais de crescimento nas diferentes alturas (Figura 1). Como o intervalo entre os discos transversais foi de 3 m, foi necessário estimar o crescimento em altura por paralelismo à última informação completa para os anéis anuais faltantes entre um disco e outro.

A evolução do crescimento médio em dap e da área basal (G) ao longo dos anos, obtido a partir do monitoramento ao longo dos anos são apresentadas na figura 1.

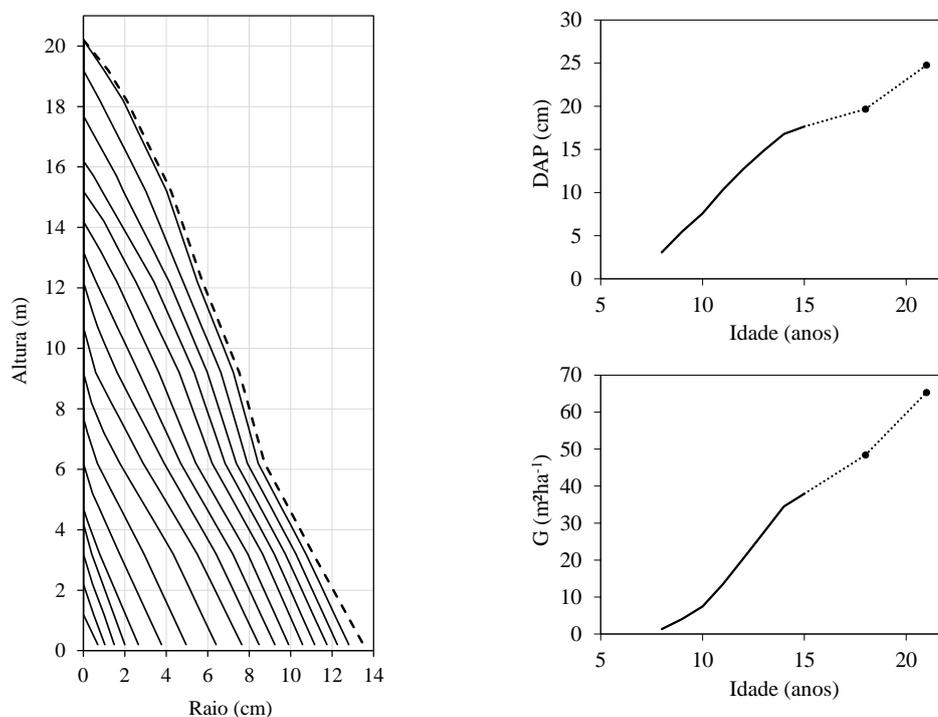


Figura 1. Perfil radial dos anéis anuais de crescimento demonstrando o crescimento médio radial e em altura, crescimento acumulado em dap médio e da área basal (G) ao longo dos anos para *C. lanceolata* cultivada no sul do Brasil. Trechos de linha pontilhada nos gráficos de crescimento de dap e G correspondem aos períodos nos quais não houve medição anual.

Figure 1. Radial profile of annual growth rings showing the mean radial and height growth, cumulative growth for the diameter at breast height (dbh) and basal area (G) along years for *C. lanceolata* grown in South Brazil. Periods with dotted line on the dbh and G growth correspond to the years with lacking field measurements.

A partir do 9-10º ano, quando o dap médio das árvores era de, aproximadamente, 5 cm, verificou-se um aumento significativo no ritmo de crescimento, tanto em diâmetro como em altura, evidenciado pelo perfil radial dos anéis anuais de crescimento (Figura 1).

Os gráficos de crescimento em dap e G (Figura 1) indicam que o ritmo de crescimento ainda é alto, não tendo sido detectada estabilização da curva (fase de senescência).

Ajuste das funções hipsométricas, volumétricas e de afilamento

A cubagem rigorosa das árvores permitiu o ajuste de funções hipsométricas e de volume individual. A obtenção de 377 pares de dados $d_i h_i^{-1}$ possibilitou ainda o ajuste de modelos de afilamento das árvores de *C. lanceolata* (Tabela 3, Figura 2).

Os modelos testados apresentaram ajustes semelhantes e satisfatórios. O modelo hipsométrico de Trorey apresentou o menor erro padrão da estimativa (S_{yx}) e uma distribuição homogênea e não tendenciosa dos resíduos (Figura 2), motivos pelos quais foi selecionado. Para estimar o volume individual das árvores, o modelo de Schumacher-Hall apresentou erro padrão da estimativa substancialmente inferior aos demais modelos avaliados e, aliado à distribuição homogênea dos resíduos, resultou no melhor ajuste (Figura 2). Com relação ao modelo de afilamento, o de potências variáveis (Hradetzky), apresentou o melhor ajuste, evidenciado pelo elevado coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$), baixo erro padrão da estimativa e distribuição dos resíduos livre de tendências e de baixa amplitude para diâmetros acima de 10 cm, considerado um limite comercial (Figura 2). Os gráficos de distribuição dos resíduos das equações não selecionadas não são apresentados.

Tabela 3. Coeficientes e estatísticas das equações hipsométricas, volumétricas e de afilamento ajustadas para *C. lanceolata* aos 21 anos de idade cultivada no sul do Brasil.

Table 3. Coefficients and statistics of the hypsometric, volumetric and taper equations fitted for 21-years-old *C. lanceolata* grown in South Brazil.

Altura						
Modelos	$\widehat{\beta}_0$	$\widehat{\beta}_1$	$\widehat{\beta}_2$	$R^2_{aj.}$	$S_{yx}\%$	
Trorey	6,04046	0,65054	-0,00505	0,79	10,3	
<i>p</i>	0,02	<0,01	0,32			
Stoffels	3,74305	0,50634			10,3	
<i>p</i>	<0,01	<0,01				
Curtis	3,31837	-8,84943		0,76	11,0	
<i>p</i>	<0,01	<0,01				
Volume						
Modelo	$\widehat{\beta}_0$	$\widehat{\beta}_1$	$\widehat{\beta}_2$	$R^2_{aj.}$	$S_{yx}\%$	
Hush	0,000273	2,29177			11,0	
<i>p</i>	<0,01	<0,01				
Spurr	0,02498	0,00003		0,99	8,8	
<i>p</i>	0,03	<0,01				
Schumacher-Hall	0,000086	1,81231	0,91465		7,9	
<i>p</i>	0,01	<0,01	<0,01			
Afilamento						
Modelo	$\widehat{\beta}_0$	$\widehat{\beta}_1$	$\widehat{\beta}_2$	$\widehat{\beta}_3$	$\widehat{\beta}_4$	$\widehat{\beta}_5$
Kozak	110873	-0,85132	-0,15861			
<i>p</i>	<0,01	<0,01	<0,01			
	$R^2_{aj.} = 0,97$	$S_{yx} = 9,4\%$				
Schöepfer	1,20679	-3,64051	16,1577	-37,23593	37,18517	-13,64304
<i>p</i>	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	$R^2_{aj.} = 0,98$	$S_{yx} = 7,6\%$				
Hradetzky	127,32114	-1,72794	-0,05442	-131,42862	5,95047	
Potências		1	5	0,005	0,2	
<i>p</i>	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	
	$R^2_{aj.} = 0,98$	$S_{yx} = 6,3\%$				

DISCUSSÃO

Aspectos dendrométricos

Verificou-se que, aos 21 anos, 84% dos indivíduos originalmente plantados continuavam presentes. A redução no número de indivíduos deve-se à mortalidade após plantio e, principalmente, à concorrência entre as árvores, responsável pela redução de 11% apenas no período entre o 15° e o 21° ano. Segundo Sun *et al.* (2011), o auto-desbaste inicia quando a relação entre o comprimento de copa viva e a altura total de árvores de *C.*

lanceolata atinge o valor de 0,3. Trata-se de uma referência importante ao silvicultor, preocupado em evitar perdas de produção em função da morte de árvores.

O dap médio aos 21 anos de idade (24,8 cm) não surpreende e pode ser considerado relativamente baixo quando comparado aos gêneros mais cultivados no país, *Pinus* e *Eucalyptus*. Destaca-se, porém, o fato do povoamento analisado não ter sido desbastado, o que certamente comprometeu o crescimento individual das árvores.

O crescimento em diâmetro de *C. lanceolata* na sua região de origem é inferior ao observado no presente estudo. Valores entre 10,8 e 20,2 cm aos 16-25 anos são relatados (HUI; VONGADOW, 1997; XIANGQING *et al.*, 2002; CHUNG *et al.*, 2011; SUN *et al.*, 2012). O mesmo pode-se afirmar para a altura. Como consequência, o volume individual total das árvores aos 21 anos de idade, 0,461 m³ no sul do Brasil, é, no mínimo, o dobro do observado naquela região (CHUNG *et al.*, 2011).

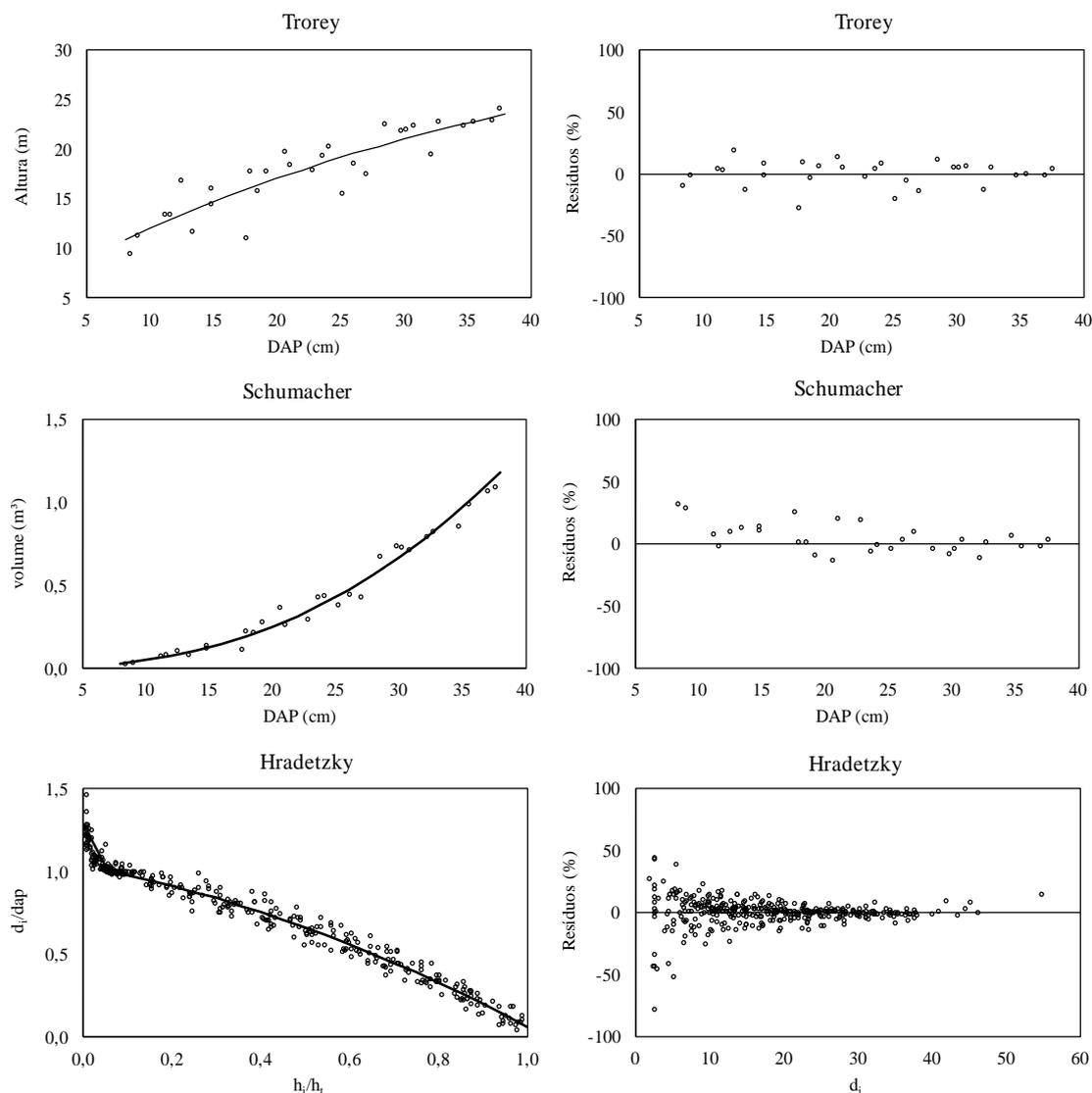


Figura 2. Nuvem de pontos e curva do ajuste (lado esquerdo), gráfico de resíduos (%) em função do DAP (lado direito) para os modelos hipsométrico de Trorey, volumétrico de Schumacher-Hall e de afilamento de Hradetzky.

Figure 2. Observations and fitted curve (left side), residuals (%) plotted on DBH (right side) for the models: hipsometric from Trorey, volumetric from Schumacher-Hall and taper from Hradetzky.

Merece destaque o potencial de ocupação do espaço produtivo de *C. lanceolata*, tendo atingido 65,3 m²ha⁻¹ de área basal aos 21 anos. Valor este semelhante ao obtido em povoamentos não desbastados de *Pinus taeda* L. em sítios ótimos (~70 m²ha⁻¹ aos 22 anos), conforme relatado por Dobner Jr. (2013) em condição de cultivo semelhante à avaliada no presente estudo.

Yen e Lee (2011), ao avaliar povoamentos entre 15 e 54 anos, relatam área basal máxima de povoamentos de *C. lanceolata*, na região de origem da espécie, de 72,3 m²ha⁻¹. Apesar de idades maiores terem sido avaliadas pelos autores, observa-se semelhança com o valor obtido no sul do Brasil.

Os primeiros anéis anuais de crescimento foram detectados nos discos a 0,2 m acima do nível do solo somente a partir do ano de 1994, quatro anos após o estabelecimento do povoamento. Pode-se concluir com isso que, plantas jovens de *C. lanceolata* quando plantadas em condições semelhantes às estudadas, precisam de, aproximadamente, quatro anos, para o pleno estabelecimento e, só após este período, iniciam o crescimento duradouro em altura e, conseqüentemente, diâmetro. Este comportamento é facilmente observado em outros plantios desta espécie. Plantas jovens são fortemente danificadas por geadas (IPEF, 1976), podendo ter a queima de toda a parte aérea da planta com posterior rebrota na base da mesma.

A análise dos dados meteorológicos da estação de Lages, SC, fornecidos pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) para os primeiros quatro anos após o plantio (1990 a 1994), evidenciou que os meses de maio (7,9 °C) e agosto (0,7 °C) do ano de 1994 foram os que apresentaram temperaturas médias mínimas mais baixas de todo o período estudado, no qual foram constatadas temperaturas de até -2,1 °C para o mês de maio em 1993 e de até -4,8 °C para o mês de agosto no ano de 1991. Isto indica que no ano de 1994, não houve a ocorrência de geadas intensas precoces e tardias, sabidamente de maior impacto às plantas. Além disso, segundo a mesma fonte, foram registradas quatro geadas fortes para os anos de 1992 e 1993, enquanto que em 1994 houve apenas uma ocorrência. Estas informações corroboram a hipótese de *C. lanceolata* ser afetada por geadas e indicam que os indivíduos poderiam ter apresentado crescimento inicial mais rápido caso condições climáticas favoráveis tivessem ocorrido nos anos que sucederam o plantio.

A região próxima à medula apresentou a formação de inúmeros falsos anéis de crescimento que, considerando o exposto, podem caracterizar o período inicial de crescimento das plantas, conforme relatado. Outra forte evidência foi o fato dos inventários anuais terem iniciado apenas no ano de 1998, no qual um dap médio de apenas 3 cm foi obtido, reforçando o comportamento da espécie com crescimento inicial lento, suscetível às geadas.

Em povoamentos já estabelecidos, o manejo da rebrota poderia ser uma alternativa visando contornar o baixo crescimento inicial das plantas. Li e Ritchie (1999) relatam para as condições da China que, ao final do segundo ano, as brotações alcançam cerca de um metro de altura.

Plantios sob cobertura visando proteger plantas jovens de *Eucalyptus dunnii* dos danos de geadas foram bem-sucedidos (DOBNER Jr. *et al.*, 2009), podendo ser uma alternativa para *C. lanceolata*. Deve-se levar em conta, porém, o fato das mudas serem pouco tolerantes ao sombreamento (XIANG *et al.*, 2009; MARCHIORI, 2005).

Passados 21 anos da data do plantio, o povoamento foi capaz de acumular 590 m³ha⁻¹ de madeira, o que significa um IMA de 28,1 m³ha⁻¹ano⁻¹, valor este inferior ao informado por EMBRAPA (1988) (36 m³ha⁻¹ano⁻¹). Entretanto, pôde-se confirmar o bom potencial de desenvolvimento e excelente forma do fuste das árvores, relatados pela mesma fonte.

A produtividade mensurada no presente estudo foi superior à encontrada na literatura para os plantios chineses desta espécie. Xiangqing *et al.* (2002) relatam que, aos 25 anos de idade, povoamentos de *C. lanceolata* estabelecidos na China, acumulam, em média, 86,5 toneladas ha⁻¹ de madeira, 61% de toda biomassa produzida. Considerando uma densidade para a madeira de 0,280 kg m⁻³ (MARCHIORI, 2005) e o estoque volumétrico aos 21 anos, 590 m³ha⁻¹, constata-se uma produção acumulada de 165 toneladas ha⁻¹, praticamente o dobro do observado no país de origem da espécie.

De uma forma geral, comprovou-se o potencial silvicultural da espécie para as condições edafoclimáticas do planalto do sul do Brasil. Embora tenha sido observada razoável capacidade de crescimento das árvores, mesmo em povoamentos totalmente estocados, a silvicultura comercial desta espécie visando à produção de toras para desdobro e/ou laminação deve considerar densidades menores de plantio e a realização de desbastes, visando concentrar o crescimento volumétrico em um número menor de indivíduos.

A experiência chinesa sobre o assunto indica que o volume de madeira produzido por unidade de área é mais fortemente influenciado pelo espaçamento inicial, em comparação com a realização de desbaste pré-comercial. Entretanto, desbastes foram fundamentais quando espaçamentos menores que 2 x 3 m foram empregados, mesmo tendo avaliado os povoamentos com apenas 14 anos de idade (SUN *et al.*, 2012).

Ajuste das funções hipsométricas, volumétricas e de afilamento

Equações hipsométricas, volumétricas e de afilamento são importantes ferramentas do manejo florestal (SOARES *et al.*, 2011). Modelos de afilamento são particularmente importantes por permitirem a quantificação e qualificação sortimentos de tora e, conseqüentemente, o potencial industrial destas (LEITE *et al.*, 2006).

Os modelos testados resultaram bons ajustes, com destaque para os modelos de Trorey para estimar alturas, de Schumacher-Hall para estimar volume individual e de Hradetzky, de afilamento.

A obtenção destas equações permitiu a adequada quantificação do povoamento avaliado, resultados estes que serviram de base para a discussão a cerca do potencial produtivo da espécie no planalto sul do Brasil.

Caso outros estudos sejam realizados com *C. lanceolata* em condições semelhantes às estudadas, as equações ora obtidas podem contribuir com a quantificação e com discussões futuras.

CONCLUSÃO

- Os resultados obtidos confirmam o potencial produtivo de *C. lanceolata* no planalto sul do Brasil, reforçando a indicação desta espécie para o manejo florestal nesta região. Apesar de um crescimento inicial lento e sujeito a danos por geadas. Incrementos médios anuais na ordem de $28 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, aos 21 anos de idade, podem ser esperados.
- Os melhores ajustes foram obtidos para os modelos de Trorey, Schumacher-Hall e Hradetzky, para estimar a altura total, volume individual e afilamento, respectivamente.

AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos à Empresa Florestal Gateados Ltda. e ao Prof. Dr. Rudi Arno Seitz (*in memoriam*) pela implantação, manutenção e guarda do estudo.

REFERÊNCIAS

- ASSMANN, E. Principles of forest yield study. New York, Pergamon Press, 506 p., 1970.
- BI, J.; BLANCO, J. A.; SEELY, B.; KIMMINS, J. P.; DING, Y.; WELHAM, C. Yield decline in Chinese-fir plantations: A simulation investigation with implications for model complexity. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 37, n. 9, p. 1615-1630, 2007.
- CHUNG, J. D.; CHIEN, C. T.; NIGH, G.; YING, C. C. Genetic Variation in Growth Curve Parameters of Konishii fir (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) HOOK. var. *konishii*). **Silvae Genetica**, v. 58, n. 1-2, p. 1-10, 2008.
- CHUNG, J. D.; CHIEN, C. T.; NIGH, G.; YING, C. C. Genetic Variation and Tree Improvement of Konishii fir (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook. var. *konishii*) in Taiwan. **Silvae Genetica**, v. 60, n. 5, p. 196-205, 2011.
- DOBNER JR., M.; HIGA, A. R.; SEITZ, R. A. Efeito da cobertura de *Pinus taeda* L. na proteção contra geadas e no crescimento de plantas jovens de *Eucalyptus dunnii* MAIDEN. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 4, p. 807-823, 2009.
- DOBNER JR., M. **Crown thinnings effects on growth and wood quality of *Pinus taeda* stands in Southern Brazil**. 211 f. Tese (*Doctor rer. nat.*) – Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg, 2013.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisas Florestais – CNPF. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado de Santa Catarina**, Curitiba: EMBRAPA, 1988. 113 p.
- EVANS, J. Plantation conifers in the tropics. In: INTERNATIONAL CONIFER CONFERENCE: CONIFERS FOR THE FUTURE, 4., 1999, Wye Coll, Ashford, England. **Proceedings...** Leuven, Belgium: International Society Horticultural Science, 2003, Acta Horticulturae, n. 615, p. 355-359.
- FREITAG, C.; MORRELL, J. J. Decay resistance of China-fir (*Cunninghamia lanceolata* (Lambert) Hooker). **Forest Products Journal**, v. 56, n. 5, p. 29-30, 2006.
- HUI, G. Y.; VONGADOW, K. Entwicklung und Erprobung eines Einheitsschaftmodelles für die Baumart *Cunninghamia lanceolata*. **Forstwissenschaftliches Centralblatt**, v. 116, n. 5, p. 315-321, 1997.
- INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS (IPEF). Zoneamento Ecológico para o Reflorestamento de Regiões Tropicais e Subtropicais. In: Boletim Informativo, v. 4, n. 13, 1976. p. 11-17.
- LEITE, H. G.; GAMA, J. R. V.; CRUZ, J. P.; SOUZA, A. L. de. Função de afilamento para *Virola surinamensis* (ROLL.) WARB. **Revista Árvore**, v. 30, n. 1, p. 99-106, 2006.
- LI, M. H.; RITCHIE, G. A. Eight hundred years of clonal forestry in China: I. traditional afforestation with Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.). **New Forests**, v. 18, n. 2, p. 131-142, 1999.

- MARCHIORI, J. N. C. **Dendrocronologia das Gimnospermas**. Santa Maria: Ed. da UFSM, 2ª edição, 2005. 161 p.
- SHIRO, C.; FURTAD, J. L.; SHEN, L. X.; YAN, M. Coping with pressures of modernization by traditional farmers: A strategy for sustainable rural development in Yunnan, China. **Journal of Mountain Science**, v. 4, n. 1, p. 57-70, 2007.
- SOARES, C. P. B.; MARTINS, F. B.; LEITE JR., H. U.; SILVA, G. F. da; FIGUEIREDO, L. T. M. Equações hipsométricas, volumétricas e de taper para onze espécies nativas. **Revista Árvore**, v. 35, n. 5, p. 1039-1053, 2011.
- SUN, H.; ZHANG, J. G.; DUAN, A. G.; HE, C. Y. Estimation of the self-thinning boundary line within even-aged Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) stands: Onset of self-thinning. **Forest Ecology and Management**, v. 261, n. 6, p. 1010-1015, 2011.
- SUN, H.; ZHANG, J. DUAN, A.; ZHANG, G.; Effect of pre-commercial thinning on diameter class distribution and total merchantable volume growth in Chinese fir stands in Southern China. **African Journal of Agricultural Research**, v. 7, n. 21, p. 3158-3165, 2012.
- WANG, Q.; WANG, S.; ZHANG, J. Assessing the effects of vegetation types on carbon storage fifteen years after reforestation on a Chinese fir site. **Forest Ecology and Management**, v. 258, n. 7, p. 1437-1441, 2009.
- XIANGQING, M.; CHUNJIANG, L.; HANNU, I.; WESTMAN, C. J.; AIQUIN, L. Biomass, litterfall and the nutrient fluxes in Chinese fir stands of different age in subtropical China. **Journal of Forestry Research**, v. 13, n. 3, p. 165-170, 2002.
- XIANG, W.; CHAI, H. X.; TIAN, D. L.; PENG, C. H. Marginal effects of silvicultural treatments on soil nutrients following harvest in a Chinese fir plantation. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 55, n. 4, p. 523-531, 2009.
- XIN, H. L.; ZHAI, X. F.; ZHENG, X.; ZHANG, L. WANG, Y. L.; WANG, Z. Anti-Inflammatory and Analgesic Activity of Total Flavone of *Cunninghamia lanceolata*. **Molecules**, v. 17, n. 8, p. 8842-8850, 2012.
- YEN, T. M.; LEE, J. S. Comparing aboveground carbon sequestration between moso bamboo (*Phyllostachys heterocycla*) and China fir (*Cunninghamia lanceolata*) forests based on the allometric model. **Forest Ecology and Management**, v. 261, n. 6, p. 995-1002, 2011.