

Influência do desbaste na forma do fuste de povoamentos naturais de *Eremanthus incanus* (Less.) Less

Thinning effects on taper of *Eremanthus incanus* (Less.) Less. in natural stands

Gabriel William Dias Ferreira^{1*}; Antonio Carlos Ferraz Filho²;
Ana Luiza Rufini Pinto³; José Roberto Soares Scolforo²

Resumo

O presente estudo teve como objetivo analisar o efeito de diferentes intensidades de desbaste sobre a forma do fuste de povoamentos naturais de *Eremanthus incanus*. Para tal, utilizaram-se dados de um experimento implantado em 2002, em um local de larga ocorrência da espécie, localizado no município de Morro do Pilar/MG. Aproximadamente três anos após uma intensa regeneração da espécie, proporcionada pela ocorrência de fogo, foram aplicadas cinco diferentes intensidades de desbaste, para posterior comparação com a testemunha sem desbaste, totalizando seis tratamentos. Sete anos e meio após a aplicação dos tratamentos, foram cubadas 360 árvores, em pé, distribuídas nos diferentes tratamentos e classes diamétricas. Foram testados os modelos de afilamento propostos por Schöepfer (1966), Hradetzky (1976) e Kozak, Munro e Smith (1969), e a possibilidade de agrupamento dos tratamentos no modelo selecionado pelo teste de identidade. O modelo proposto por Schöepfer (1966) foi o mais acurado e preciso na estimativa dos diâmetros ao longo do fuste. Enquanto os diâmetros a diferentes alturas foram estimados satisfatoriamente, todos os três modelos avaliados apresentaram tendência a subestimar o volume para as árvores maiores. Pelo teste de identidade de modelos, verificou-se a possibilidade de agrupamento da equação de afilamento para as duas menores intensidades de desbaste, bem como o agrupamento das árvores nos três tratamentos onde o espaço vital disponível era maior. As árvores conduzidas em menores densidades apresentaram forma mais cônica em relação às árvores conduzidas em maiores densidades. A testemunha apresentou árvores com características específicas, menos cônicas, e necessidade de utilização de uma equação exclusiva para quantificação dos seus múltiplos produtos.

Palavras-chave: Funções de afilamento, candeia, teste de identidade de modelos, perfil do tronco

Abstract

This study aimed to analyze the effect of different thinning intensities on stem taper of *Eremanthus incanus* in naturally regenerated stands. Data from an experiment located at Morro do Pilar/MG and installed in 2002 were used. About three years after a fire occurrence that provided an intense regeneration of *Eremanthus incanus*, five thinning intensities were applied and compared with a control treatment with no thinning. Seven and a half years after installation of the trial 360 standing trees in the different thinning treatments and diameter classes were scaled. Three taper equations were tested: Schöepfer (1966), Hradetzky (1976) and Kozak, Munro e Smith (1969), as well as the possibility of grouping

¹ Eng^o Florestal, Discente do Curso de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, UFV, Viçosa, MG. E-mail: gabrielwdf@yahoo.com.br

² Eng^{os} Florestais, Profs. Drs. do Dept^o de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras, UFLA, Lavras, MG. E-mail: antoniocarlos.ferraz@dcf.ufla.br; scolforo@dcf.ufla.br

³ Eng^a Florestal, Discente do Curso de Doutorado em Ciências Florestais, UFLA, Lavras, MG. E-mail: alrufini@dcf.ufla.br

* Autor para correspondência

the treatments into one equation using the identity test. The equation proposed by Schöepfer (1966) was the most accurate and precise in estimating the diameters along the stem. While the diameters at different stem height were satisfactorily estimated, the three equations tested tended to underestimate the volume of the larger trees. Using the identity test, it was possible to use one taper equation for the two lower thinning intensities, and another to represent the trees placed in the three treatments with higher thinning intensities. Trees grown at lower densities of plants per hectare were found to be more conical compared to the trees at higher densities. Trees of the control treatment were less conical and needed an exclusive taper equation.

Key words: Taper equation, candeia, identity test, stem profile

Introdução

As exigências do mercado florestal brasileiro por produtos diversificados e de qualidade têm mostrado a necessidade de otimização do uso dos recursos florestais. Como consequência, observa-se uma grande valorização das espécies que propiciam usos múltiplos de sua madeira, pois os produtos gerados alcançam preços diversificados no mercado, aumentando o valor agregado da madeira, e reduzem o impacto das oscilações do mercado sobre cada produto individualmente (ASSIS et al., 2002).

Isso tem estimulado a realização de diversas pesquisas sobre as técnicas de quantificação e qualificação desses produtos. Entre essas, destacam-se as pesquisas sobre as funções de afilamento, que possibilitam a determinação do volume total e comercial de madeira para qualquer diâmetro ou altura especificados (LEITE et al., 2006). São excelentes para a quantificação dos sortimentos dos povoamentos florestais e a gama de informações que elas propiciam tem levado ao desenvolvimento de diferentes técnicas de modelagem do perfil dos fustes das espécies florestais.

As pesquisas realizadas no Brasil que analisam o perfil do tronco e que convertem florestas em múltiplos produtos são geralmente direcionadas para os gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, tais como Scolforo et al. (1998), Assis et al. (2001; 2002), Machado et al. (2004), Silva et al. (2006), Mendonça et al. (2007), Nogueira et al. (2008) e Souza et al. (2008). Quanto às espécies nativas, destacam-se os trabalhos de Chichorro, Rezende e Leite (2003),

Leite et al. (2006), Queiroz et al. (2006; 2008) e Barros e Silva Júnior (2009).

Dentre as espécies florestais brasileiras de múltiplo uso, a candeia (*Eremanthus incanus*) se destaca como passível de manejo, por possuir grande capacidade de regeneração, rusticidade e baixa exigência edáfica, se desenvolvendo em solos rasos, pouco férteis e em altitudes entre 700 e 1800 m, onde outra cultura, agrícola ou florestal, dificilmente teria sucesso.

Essa espécie produz madeira, principalmente, para moirões de cerca, devido à sua alta durabilidade e resistência ao ataque de cupins e bactérias. Como usos secundários da espécie, podem-se citar esteios, caibros, tacos e dormentes, além da necessidade de se estudar o seu potencial para aproveitamento de extração de óleo essencial, já observado para outras espécies do gênero (SCOLFORO et al., 2004; MORI et al., 2009).

Scolforo et al. (2008) quantificaram os produtos advindos de outra espécie de candeia, a *Eremanthus erythropappus*. Foram geradas equações para que se pudessem quantificar os volumes com e sem casca, e o número de moirões da espécie. Porém, cada produto foi calculado a partir de uma equação separadamente, não sendo obtido o rendimento em múltiplos produtos de uma árvore. Portanto, faltam estudos sobre funções que descrevam o perfil do tronco e quantifiquem os múltiplos produtos de uma árvore, como forma de se agregar valor à espécie.

São diversos os fatores que afetam a forma do fuste de uma árvore, dentre eles espaçamento, sítio, idade e posição fitossociológica, dificultando

a maneira certa de poder se estratificar e proceder aos ajustes das funções de afilamento. Uma maneira de testar se a variação na forma do fuste causada por esses fatores é significativa é através do teste de identidade de modelos (QUEIROZ et al., 2008).

A identidade de modelos é uma técnica que permite comparar se determinados modelos com as mesmas variáveis independentes, mas com coeficientes diferentes, são ou não, idênticos estatisticamente. Quando idênticos, é possível o agrupamento desses modelos, facilitando o planejamento de uma atividade, por possibilitar o trabalho com um número reduzido de equações.

Nesse sentido, alguns autores empreenderam esforço no estudo desse tipo de teste, podendo-se citar, entre os mais recentes, os trabalhos de Thiersch et al. (2006), Nogueira et al. (2008), Queiroz et al. (2008) e Rufini et al. (2010).

Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivos testar duas hipóteses:

- diferentes intensidades de desbaste afetam a forma do fuste;
- árvores conduzidas com um maior espaço vital disponível possuem forma mais cônica que árvores conduzidas sob maior competição.

Material e Métodos

Localização e descrição da área de estudo

A área objeto de estudo está localizada em Morro do Pilar/MG, município onde a candeia *Eremanthus incanus* (Less.) Less. apresenta ampla ocorrência e abundante regeneração natural. Situada na região central do estado de Minas Gerais, ao sul da cadeia do Espinhaço, Morro do Pilar possui 476,62 km² de extensão, nas coordenadas 19°12'56"S de latitude e 43°22'35"W de longitude, com altitudes variando de 632 a 1.541 m (ALMG, 2010).

O clima de Morro do Pilar, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwb (mesotérmico úmido), com verões brandos e invernos secos. As médias

anuais de precipitação e temperatura são de 1.521,3 mm e 20,8°C, respectivamente (ALMG, 2010). A vegetação típica da região inclui o Cerrado *Sensu Stricto*, o Campo Cerrado, a mata de galeria e a Floresta Estacional Semidecidual Montana (CRUZ, 2006). Quanto aos solos, o experimento está localizado em uma área de transição, com predominância do Latossolo Vermelho distrófico, mas tendendo para o Neossolo Litólico distrófico, por estar muito próximo às áreas de serra do Complexo do Cipó (AMARAL et al., 2005).

Caracterização do experimento

O experimento foi instalado em 2002, 2,7 anos depois de um incêndio, ocorrido em 1999, que atingiu cerca de 100 ha da fazenda, proporcionando uma intensa regeneração de *Eremanthus incanus*, formando um candeal de 79.668 plântulas/ha, em média.

A instalação do experimento ocorreu segundo o delineamento experimental em blocos casualizados, onde foram alocados quatro blocos de 2.400 m² (20 x 120 m), subdivididos em seis parcelas de 400 m² (20 x 20 m). Os tratamentos aplicados nas parcelas, distribuídos ao acaso em cada um dos blocos, consistiram na redução da densidade inicial de plântulas, por meio da aplicação de desbaste, para uma densidade específica para cada tratamento, de forma que se mantivesse a distância entre plântulas semelhante a um espaçamento regular.

Assim, as densidades obtidas após o desbaste foram:

- Tratamento 1 – 6667 plântulas/ha, em arranjo similar ao espaçamento 1,0 x 1,5 m;
- Tratamento 2 – 4444 plântulas/ha, em arranjo similar ao espaçamento 1,5 x 1,5 m;
- Tratamento 3 – 3333 plântulas/ha, em arranjo similar ao espaçamento 2,0 x 1,5 m;
- Tratamento 4 – 2667 plântulas/ha, em arranjo similar ao espaçamento 2,5 x 1,5 m;

- Tratamento 5 – 2222 plântulas/ha, em arranjo similar ao espaçamento 3,0 x 1,5 m;
- Tratamento 6 – Testemunha (monitoramento do crescimento das plântulas em condições naturais, sem nenhuma intervenção).

árvores, distribuídas entre os seis tratamentos, divididas em sete classes diamétricas (Tabela 1). A cubagem foi feita pelo método de *Smalian*, tomando-se medidas absolutas a 0,1; 0,5; 1,30 m e medidas variáveis até o topo da árvore, conforme as variações do fuste e inserção de galhos. Foram medidos, em média, sete diâmetros por árvore, até uma altura máxima de 3,70 m.

Cubagem rigorosa

Na 10ª medição do experimento, ou 7,5 anos após sua implantação, foram cubadas, em pé, 360

Tabela 1. Relação das árvores cubadas, em função das classes de diâmetro e altura.

Classe de diâmetro (cm)	Classe de Altura (m)					Total CLD
	1 2	2 3	3 4	4 5	5 6	
< 3	3	25	17	-	-	45
3 4	-	29	32	3	-	64
4 5	-	9	51	10	1	71
5 6	-	4	57	12	-	73
6 7	-	1	41	20	1	63
7 8	-	-	7	24	2	33
≥8	-	-	1	10	-	11
Total			-			360

Fonte: Elaboração dos autores.

Funções de afilamento não segmentadas testadas

O ajuste dos modelos de afilamento não segmentadas foi feito para cada tratamento avaliado e também para o conjunto total de dados.

Os modelos testados estão descritos a seguir:

a) Polinômio do 5º grau (SCHÖEPFER, 1966)

$$\frac{d_i}{D_{1,3}} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{H_T} \right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{H_T} \right)^2 + \beta_3 \left(\frac{h_i}{H_T} \right)^3 + \beta_4 \left(\frac{h_i}{H_T} \right)^4 + \beta_5 \left(\frac{h_i}{H_T} \right)^5 + e_i$$

onde:

β_i = parâmetros a serem estimados;

d_i = diâmetro tomado em diferentes alturas h_i ao longo do fuste;

$D_{1,3}$ = diâmetro a 1,3 m de altura (DAP), em cm;

H_T = altura total (m);

h_i = altura i (m) de um referido diâmetro;

e_i = erro de estimativa.

b) Polinômio de Potências Inteiras e Fracionárias (HRADETZKY, 1976)

Este modelo se diferencia do Polinômio do Quinto Grau por apresentar potências fracionárias e inteiras como tentativa de melhor representar o perfil da árvore. A forma geral do polinômio é:

$$\frac{d_i}{D_{1,3}} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{H_T} \right)^{p_1} + \beta_2 \left(\frac{h_i}{H_T} \right)^{p_2} + \dots + \beta_n \left(\frac{h_i}{H_T} \right)^{p_n} + e_i$$

onde:

d_i , $D_{1,3}$, h_i , H_T , β_i e e_i = já definidos anteriormente.

p_i = expoentes variando entre 0,00005 e 95.

c) Kozak, Munro e Smith (1969)

$$\frac{d_i}{D_{1,3}} = \sqrt{\beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{H_T} \right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{H_T} \right)^2} + e_i$$

onde:

d_i , $D_{1,3}$, h_i , H_T , β_1 e e_i = já definidos anteriormente.

Para o ajuste dos modelos de afilamento, foi utilizado o programa *Statgraphics plus 2.1* (1995), visando à obtenção dos coeficientes de regressão, das estatísticas de comparação e análise de resíduos. Para o ajuste do modelo de Potências Fracionárias (Hradetzky, 1976), utilizou-se o método *Forward*, o qual consiste em incluir todas as variáveis que atingirem o grau de significância determinado para o teste.

A partir da integração desses modelos, obtém-se a expressão que propicia obter os sortimentos comerciais correspondentes a qualquer porção da árvore, além do volume total.

Precisão e acuracidade das funções de afilamento

A precisão e acuracidade dos três modelos não segmentados testados foram avaliadas pelos seguintes critérios: coeficiente de determinação corrigido (R^2), erro padrão da estimativa em percentagem (Syx%) e análise gráfica da dispersão dos resíduos, sendo esses critérios utilizados para verificar se os modelos possuem ajustes satisfatórios de maneira geral. Adicionalmente, foram aplicadas as estatísticas apresentadas por Soares et al. (1995), descritas na Tabela 2. As variáveis avaliadas foram os diâmetros estimados em cada posição de medição (alturas relativas) e as estimativas de volumes individuais.

Tabela 2. Cálculos realizados para acessar a acurácia e precisão.

	Resíduo Médio	Resíduo Médio %
Acurácia	$\sum (y - \hat{y}) / n$	$100 \sum \left(\left[\frac{y - \hat{y}}{y} \right] \right) / n$
	Resíduo Médio Absoluto	Resíduo Médio Absoluto %
Precisão	$\sum y - \hat{y} / n$	$100 \sum \left(\left \frac{y - \hat{y}}{y} \right \right) / n$

Fonte: Adaptado de Soares et al. (1995).

Teste de identidade de modelos

Após a seleção da melhor função de afilamento para cada tratamento e para o conjunto total dos dados, foi empregado o teste de identidade entre modelos, com o propósito de avaliar a possibilidade de uma única equação modelar o comportamento do fuste nos seis tratamentos avaliados. Foram testadas todas as combinações que representam as várias possibilidades de agrupamento entre os tratamentos, o que totalizou 57 combinações.

Adotou-se o teste proposto por Graybill (1976). Este consiste, basicamente, na redução da soma dos quadrados, permitindo verificar estatisticamente, pelo teste de F, a significância da diferença entre o total das somas dos quadrados das regressões ajustadas para cada tratamento isoladamente (modelo completo), e a soma do quadrado da regressão ajustada para o conjunto total dos dados (modelo reduzido). A Tabela 3 apresenta os procedimentos de cálculo da análise de variância e posterior teste de identidade de modelos.

Tabela 3. Análise de variância para o teste de identidade de modelos.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F
Modelo completo	(T*p)	$SQ_{(completo)}$		
Modelo reduzido	p	$SQ_{(reduzido)}$		
Diferença para testar hipótese	(T-1)p	$SQ_{(completo)} - SQ_{(reduzido)}$	$SQ_{(diferença)}/(T-1)p$	$QM_{(diferença)}/QM_{(reduzido)}$
Resíduo	N - (T*p)	$SQ_{(total)} - SQ_{(completo)}$	$SQ_{(reduzido)}/N - (T*p)$	
Total	N	$SQ_{(total)}$		

GL – graus de liberdade; SQ – soma de quadrados; QM – quadrado médio; F – teste f; T – número de tratamentos; p – número de parâmetros do modelo; N – número de observações.

Fonte: Adaptado de Graybill (1976).

As hipóteses estabelecidas foram:

H_0 = o modelo reduzido ajustado para o conjunto total dos dados dos seis tratamentos não apresenta diferença em relação aos modelos completos ajustados para cada um dos tratamentos.

H_1 = rejeita-se H_0 .

O processamento dos dados para o teste de identidade de modelos foi realizado no software SISFLOR, desenvolvido por Thiersch et al. (2003).

Resultados e Discussão

Ajuste, acurácia e precisão dos modelos não segmentados

Os parâmetros estimados para os três modelos avaliados para o conjunto total de dados e para cada tratamento foram reunidos na Tabela 4. As respectivas estatísticas utilizadas para a seleção do melhor modelo, para as estimativas dos diâmetros

ao longo do fuste, são apresentadas na Tabela 5, e para as estimativas de volumes comerciais e totais, na Tabela 6.

Pode-se observar que a equação de Kozak, Munro e Smith (1969) apresentou o menor valor de R^2 em todos os tratamentos, quando comparados com os outros dois modelos testados (Tabela 5). Os polinômios do quinto grau e de potências fracionárias apresentaram altos valores de R^2 , variando entre 91 e 94%. O polinômio do quinto grau apresentou os menores erros padrões da estimativa em todos os tratamentos avaliados, variando entre 0,54 e 0,70 cm.

Pela análise das estatísticas da Tabela 5, onde quanto mais próximo de zero os valores absolutos e médios, mais preciso e exato é o modelo, percebe-se, novamente, um melhor desempenho do polinômio do quinto grau. Para auxiliar na seleção do melhor modelo de afilamento também foram avaliados os gráficos de resíduos, apresentados na Figura 1.

Tabela 4. Estimativa dos parâmetros dos modelos e respectivas potências (no caso de Hradetzky, 1976).

Modelo	Tratamento	Estimativa dos parâmetros					
		β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5
Polinômio do 5º grau	Todos	1,6787*	-6,4946*	28,8934*	-65,5117*	66,8507*	-25,4158*
	T1	1,6522*	-5,2091*	19,6579*	-40,5053**	38,7905**	-14,3855***
	T2	1,7123*	-7,6541*	37,0065*	-86,8919*	90,7021*	-34,8749*
	T3	1,6584*	-6,8946*	33,1205*	-79,9774*	85,6881*	-33,5949*
	T4	1,6607*	-6,8615*	33,0792*	-78,3600*	81,7431*	-31,2602*
	T5	1,6957*	-6,6395*	29,5357*	-66,9042*	67,5279*	-25,2142*
	T6	1,7009*	-5,9763*	23,428*	-48,8705*	48,4039*	-18,6849*
Hradetzky, 1976	Todos	3,5039*	-2,7451*	-4,7758*	4,6957*	-0,6786*	-
	Potências	-	0,09	5	6	95	-
	T1	3629,38*	-3628,49*	-0,6268*	-0,2624*	-	-
	Potências	-	0,00005	2	95	-	-
	T2	5656,86*	-5656,38*	1,2102*	-1,6823*	-	-
	Potências	-	0,00005	1	2	-	-
	T3	5253,36*	-5252,91*	8,2810*	-8,5384*	-0,1891*	-
	Potências	-	0,00005	0,9	1	95	-
	T4	7220,85*	-7220,85*	6,8574*	-6,7039*	-0,1448*	-
	Potências	-	0,00005	0,8	1	95	-
	T5	4396,55*	-4395,82*	0,5140**	-1,2359*	-	-
	Potências	-	0,00005	1	2	-	-
T6	4106,55*	-4105,73*	-0,5013*	-0,3138*	-	-	
Potências	-	0,00005	3	95	-	-	
Kozak, Munro e Smith (1969)	Todos	2,2370*	-4,0453*	1,8647*	-	-	-
	T1	2,2791*	-4,0109*	1,7850*	-	-	-
	T2	2,2379*	-4,0347*	1,8505*	-	-	-
	T3	2,1781*	-4,1426*	2,0233*	-	-	-
	T4	2,1699*	-3,9035*	1,7763*	-	-	-
	T5	2,2885*	-4,3517*	2,1130*	-	-	-
	T6	2,2660*	-3,7791*	1,5997*	-	-	-

T1: 6667 plantas/ha; T2: 4444 plantas/ha; T3: 3333 plantas/ha; T4: 2667 plantas/ha; T5: 2222 plantas/ha; T6: testemunha. * indica que o parâmetro é significativo a 99% de confiança, ** a 95% de confiança e *** a 90% de confiança pelo teste T.

Fonte: Elaboração dos autores.

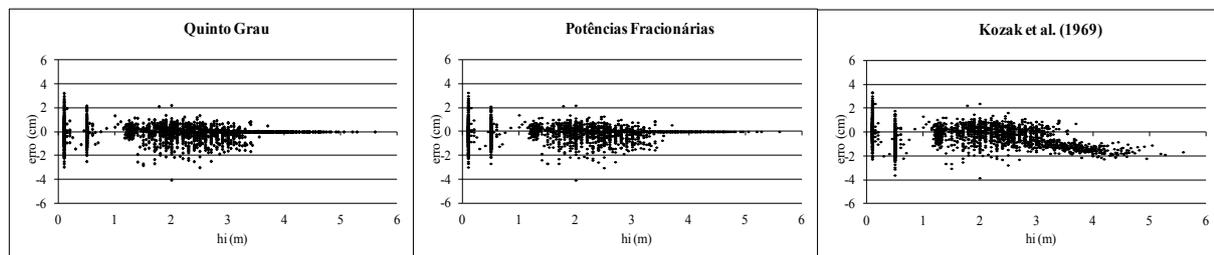
Tabela 5. Valores dos coeficientes de correlação (R^2), erro padrão da estimativa (Syx), em cm, e as estatísticas de precisão e acurácia para as estimativas dos diâmetros ao longo do fuste.

Modelo	Tratamento	R2	Syx	Precisão	Acurácia
Polinômio do 5º grau	Todos	0,9193	0,6393	0,4168	-0,0940
	T1	0,9121	0,5876	0,3182	-0,0450
	T2	0,9131	0,5664	0,3905	0,5040
	T3	0,9227	0,6860	0,4312	0,6200
	T4	0,9287	0,6364	0,4242	0,5520
	T5	0,9216	0,7037	0,4683	0,6410
	T6	0,9422	0,5415	0,3289	0,5120
Hradetzky, 1976	Todos	0,9237	0,6449	0,4208	-0,0990
	T1	0,9296	0,5932	0,3302	0,5590
	T2	0,9104	0,5789	0,4043	0,5210
	T3	0,9203	0,7085	0,4556	0,6320
	T4	0,9266	0,6619	0,4487	0,5380
	T5	0,9201	0,7242	0,4908	0,6430
	T6	0,9422	0,5468	0,3356	0,5000
Kozak, Munro e Smith (1969)	Todos	0,7951	0,8501	0,6574	-0,2620
	T1	0,7767	0,7488	0,5401	0,6150
	T2	0,7814	0,7854	0,6299	0,6140
	T3	0,7818	0,9429	0,7274	0,8340
	T4	0,8197	0,8323	0,6455	0,6680
	T5	0,7985	0,9372	0,7326	0,8170
	T6	0,8223	0,7582	0,5694	0,6330

T1: 6667 plantas/ha; T2: 4444 plantas/ha; T3: 3333 plantas/ha; T4: 2667 plantas/ha; T5: 2222 plantas/ha; T6: testemunha.

Fonte: Elaboração dos autores.

Figura 1. Distribuição gráfica dos resíduos, em cm, em função das diferentes alturas de medição (h_i) para o conjunto total de dados analisados.



Fonte: Elaboração dos autores.

Percebe-se, no modelo de Kozak, Munro e Smith. (1969), uma leve tendência à superestimação, visto que o erro é calculado pela diferença entre as medidas reais e estimadas, dos diâmetros localizados na porção final das árvores, ou seja, nas medidas realizadas próximas à altura total (Figura 1). Avaliando os modelos de potências fracionárias e quinto grau observa-se gráficos de resíduos muito

semelhantes e ambos não apresentaram tendência indesejável.

Embora o modelo de Kozak, Munro e Smith (1969) tenha apresentado estimativas de ajuste e precisão satisfatórias (Tabela 5), mostrou-se ineficiente para estimar os diâmetros ao longo do fuste em todos os tratamentos, por apresentar

tendenciosidade nos extremos (Figura 1). Resultados semelhantes foram encontrados nos trabalhos de Machado et al. (2004), Leite et al. (2006) e Queiroz et al. (2006).

Os valores apresentados para os polinômios do quinto grau e de potências fracionárias foram muito semelhantes, entretanto, como os valores apresentados pelo polinômio do quinto grau foram pouco menores para todos os tratamentos separadamente, e também, para os tratamentos reunidos, pode-se afirmar que este modelo é ligeiramente superior ao polinômio de potências

fracionárias na estimativa dos diâmetros ao longo do fuste de *Eremanthus incanus*, nas condições avaliadas. Queiroz et al. (2006) testando os mesmos três modelos encontraram resultados diferentes, porém a espécie avaliada era bracatinga e a variação era proveniente de diferentes classes de idade. No trabalho de Machado et al. (2004), o polinômio de potências fracionárias foi o melhor avaliado, seguido pelo polinômio do quinto grau, mas no caso, a espécie avaliada era *Pinus oocarpa*, e as variações, provocadas pela idade e número de desbastes, tiveram pouca influência nos resultados dos ajustes dos dois modelos.

Tabela 6. Valores do erro padrão da estimativa (Syx), em m³, e as estatísticas de precisão e acurácia para as estimativas dos volumes individuais.

Modelo	Tratamento*	Syx	Precisão	Acurácia
Polinômio do 5º grau	Todos	0,0013	0,0008	-0,0003
	T1	0,0009	0,0004	-0,0002
	T2	0,0011	0,0007	-0,0003
	T3	0,0015	0,0009	-0,0004
	T4	0,0013	0,0009	-0,0003
	T5	0,0015	0,0009	-0,0003
	T6	0,0010	0,0005	-0,0002
Hradetzky, 1976	Todos	0,0015	0,0009	-0,0005
	T1	0,0010	0,0005	-0,0002
	T2	0,0010	0,0007	-0,0002
	T3	0,0015	0,0009	-0,0004
	T4	0,0014	0,0009	-0,0004
	T5	0,0015	0,0009	-0,0003
	T6	0,0011	0,0005	-0,0003
Kozak, Munro e Smith (1969)	Todos	0,0016	0,0010	-0,0007
	T1	0,0009	0,0005	-0,0001
	T2	0,0013	0,0009	-0,0006
	T3	0,0018	0,0011	-0,0008
	T4	0,0016	0,0010	-0,0007
	T5	0,0019	0,0012	-0,0008
	T6	0,0012	0,0006	-0,0004

* T1: 6667 plantas/ha; T2: 4444 plantas/ha; T3: 3333 plantas/ha; T4: 2667 plantas/ha; T5: 2222 plantas/ha; T6: testemunha.

Fonte: Elaboração dos autores.

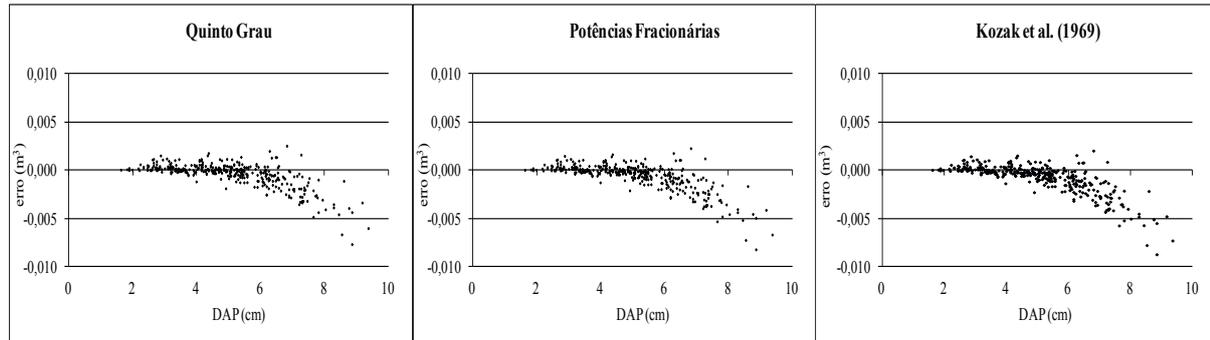
Pode-se verificar que as equações de volume geradas ajustaram-se bem aos valores reais calculados por Smalian, conforme as estatísticas utilizadas para verificação dos modelos (Tabela 6).

O polinômio do quinto grau foi o mais preciso e acurado dos modelos em quase todos os tratamentos avaliados, e o melhor para o conjunto total de dados. Os gráficos de dispersão dos resíduos

para os modelos testados para o conjunto total de dados, em função dos diâmetros das árvores, são apresentados na Figura 2. Também foram feitos

gráficos para cada tratamento separadamente (dados não apresentados), para verificar se apresentavam o mesmo comportamento, o que foi constatado.

Figura 2. Distribuição gráfica dos resíduos, em m^3 , em função do diâmetro para o conjunto total de dados analisados.



Fonte: Elaboração dos autores.

Pode-se observar que os três modelos avaliados apresentam tendenciosidade na estimativa dos volumes, à medida que se aumentam os valores dos volumes estimados. Comportamentos semelhantes a este foram encontrados nos trabalhos de Queiroz et al. (2006; 2008). A tendência ocorreu apenas para as árvores das maiores classes diamétricas, o que pode sugerir necessidade de uma pós-estratificação por classe diamétrica, para que esse comportamento seja evitado, porém, isto não foi avaliado neste trabalho. Pode-se considerar que o ajuste foi satisfatório, uma vez que os valores encontrados de precisão e acurácia foram bons (Tabela 6) e os resíduos estão bem distribuídos para a maior concentração dos dados, ou seja, árvores com *DAP* de até 7 cm. No modelo de Kozak, Munro e Smith (1969), observa-se que a tendência se inicia nas árvores com *DAP* de 6 cm, confirmando a pior avaliação deste modelo.

Teste de identidade

O modelo do polinômio do quinto grau foi definido como a melhor equação para estimar os diferentes diâmetros ao longo do fuste e volumes individuais. Machado et al. (2004) e Mendonça et al. (2007) também obtiveram bons resultados trabalhando

com o polinômio. Assim, pôde-se aplicar o teste de identidade de modelos, na tentativa de agrupá-las para os diversos tratamentos avaliados, visando trabalhar com um número menor de equações. A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos com o teste de identidade, onde apenas os agrupamentos que geraram o menor número possível de equações são apresentados. Para que exista identidade, o valor da probabilidade de F deve ser maior ou igual ao nível de significância de $\alpha=0,05$, ou seja, os testes devem ser não significativos, aceitando a hipótese H_0 estabelecida.

A primeira combinação testada foi para o conjunto total dos dados. Caso o teste fosse não significativo, partir-se-ia do princípio de que não precisaria estratificar por intensidade de desbaste (tratamento) podendo ser ajustada uma única equação para o povoamento. No entanto, como o resultado foi significativo, deu-se continuidade ao teste para as diferentes combinações.

Observou-se que a testemunha (tratamento 6) não apresentou identidade com nenhum outro tratamento avaliado, sendo, portanto, necessário o ajuste de uma equação diferenciada para este tratamento. Foi observado a possibilidade de agrupamento entre os

tratamentos 3, 4 e 5, que são as maiores intensidades de desbaste testadas. O tratamento 1 (6667 plantas/ha), por sua vez, foi não significativo apenas quando

combinado com o tratamento 2 (4444 plantas/ha), o que mostra a possibilidade de usar apenas uma equação para estimativa dos produtos desses dois tratamentos.

Tabela 7. Resultados obtidos pelo teste de identidade de modelos com as combinações possíveis e seus respectivos parâmetros.

Trat.	Estimativa dos parâmetros						Teste	Probabilidade – F	Signif.
	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5			
1 e 2	1,7011*	-6,7120*	29,6869*	-66,5406*	67,4361*	-25,5714*	Identidade	0,2650	NS
							Nível	0,8809	
							Forma	0,6016	
3, 4 e 5	1,6720*	-6,8081*	31,9984*	-75,3693*	78,7076*	-30,1996*	Identidade	0,3266	NS
							Nível	0,6062	
							Forma	0,4251	
6	1,7009*	-5,9763*	23,4280*	-48,8710*	48,4039*	-18,6850*	-	-	-

T1: 6667 plantas/ha; T2: 4444 plantas/ha; T3: 3333 plantas/ha; T4: 2667 plantas/ha; T5: 2222 plantas/ha; T6: testemunha. * indica que o parâmetro é significativo a 99% de confiança pelo teste T.

Fonte: Elaboração dos autores.

Assim, para as intensidades de desbaste avaliadas, podem ser utilizadas apenas três equações (Tabela 7). Uma específica para áreas não desbastadas, uma equação para áreas com estocagem entre 2222 a 3333 plantas/ha (tratamentos 3, 4 e 5) e outra para as menores intensidades de desbaste, com estocagem entre 4444 a 6666 plantas/ha (tratamentos 1 e 2). Resultados semelhantes foram obtidos por Nogueira et al. (2008), onde foi possível o agrupamento de tratamentos de espaçamentos semelhantes, possibilitando o uso de três equações para retratar o perfil do fuste de *Pinus taeda* em nove diferentes espaçamentos avaliados pelos autores.

Influência da intensidade do desbaste sobre a forma do fuste e comprimento de copa

Para uma melhor visualização da influência das diferentes intensidades de desbaste sobre a forma do fuste da candeia *Eremanthus incanus*, a Figura 3 mostra o perfil de uma árvore média estimada pelas equações que foram significativamente diferentes entre si, obtidas pelo teste de identidade de modelos.

Para um mesmo *DAP* e altura total, a testemunha (T6) apresentou a forma menos cônica. Conforme os desbastes ficam mais intensos (e.g. menos árvores por hectare), é aumentado o espaço vital para as plantas, e conseqüentemente a conicidade das plantas também aumenta. O comportamento das diferenças entre os perfis pode ser confirmado visualmente pela Figura 3.

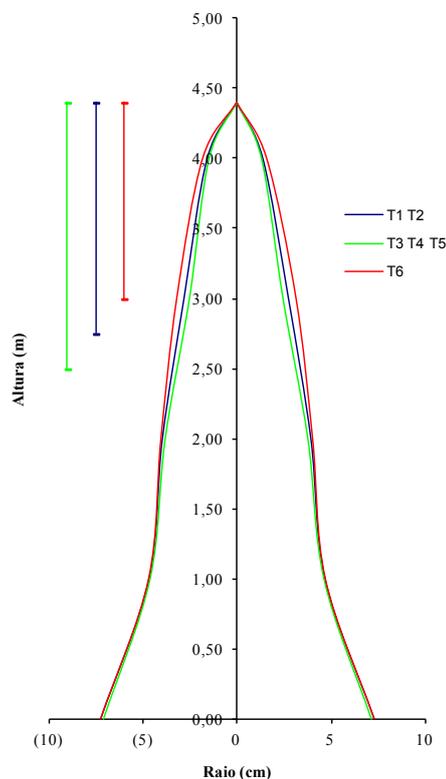
Trabalhando com de *Pinus taeda*, Nogueira et al. (2008) também observaram forte influência do espaçamento na forma do fuste das árvores da espécie, resultando em maior conicidade nas árvores submetidas a maiores espaçamentos. Os autores comentam ainda que o espaçamento influencia no volume, pois, para árvores com um mesmo *DAP* e altura total, espaçamentos menores proporcionam árvores com maiores volumes, pois apresentam fuste com a forma menos cônica.

A Figura 3 ainda mostra as diferenças encontradas entre os comprimentos de copa das árvores submetidas aos diferentes espaçamentos. Observa-se que árvores conduzidas sob maior espaço vital possuem uma copa mais longa. A

variação do comprimento observado da copa nos diferentes tratamentos ajuda a explicar a variação na forma das árvores. Segundo Larson (1963), o fuste dentro a copa ativa da árvore apresenta uma alta taxa de afilamento, sendo a região próxima à base da copa o ponto de maior crescimento em diâmetro. Comparadas às árvores dos tratamentos de desbaste

mais severos, as árvores conduzidas em condições mais adensadas possuem um comprimento de copa menor devido ao sombreamento causado pela elevada competição. Em consequência do menor comprimento de copa, estas árvores apresentam formas mais cilíndricas, quando comparadas a árvores conduzidas em maiores espaçamentos.

Figura 3. Perfil de uma árvore de 8,5 cm de *DAP* e 4,40 m de altura, estimado pelas três diferentes equações geradas pelo teste de identidade, onde as barras verticais mostram o comprimento de copa médio para cada conjunto de tratamentos avaliados.



Fonte: Elaboração dos autores.

Outro fator que explica a diferença na forma do fuste para os diferentes níveis de desbaste é o fato que enquanto o desbaste influenciou bastante o desenvolvimento em *DAP*, o crescimento em altura foi menos afetado (dados não apresentados). Este comportamento é esperado, pois segundo Assmann (1970) árvores conduzidas em condições de estresse por luz sacrificam seu crescimento em diâmetro

em prol do crescimento em altura. Deste modo, os diferentes tratamentos apresentaram altura média semelhante, porém diâmetro médio diferenciado, onde quanto mais adensado o tratamento menor o diâmetro médio. Portanto, como as árvores nos tratamentos mais adensados apresentaram alturas semelhantes, porém diâmetros menores, a conicidade foi reduzida quando comparada às

árvores nos tratamentos menos adensados com maiores diâmetros.

Conclusões

As diferentes intensidades de desbaste afetam a forma do fuste e, conseqüentemente, o comportamento da função de afilamento. Verificou-se comportamento semelhante nos tratamentos em que se aplicaram as menores intensidades de desbaste (4444 a 6667 plantas/ha), a necessidade de utilização de uma equação específica para a testemunha e a possibilidade de agrupamento dos tratamentos onde o espaço vital disponível para a planta era maior (2222 a 3333 plantas/ha).

Maiores intensidades de desbaste resultam em árvores mais cônicas e com comprimento de copa maior, comparadas com a testemunha e, também, com as árvores conduzidas sob uma intensidade de desbaste menor.

Referências

AMARAL, F. C. S.; SANTOS, H. G.; DIAMANTE, M. L. A.; PEREIRA, N. R.; OLIVEIRA, R. P.; CARVALHO JUNIOR, W.; DUARTE, M. N. Mapeamento de solos e aptidão agrícola das terras do Estado de Minas Gerais. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, Rio de Janeiro, v. 1, p. 1, 2005.

ASSEMBÉIA LEGISLATIVA DE MINAS GERAIS – ALMG. 2010. Disponível em: <<http://www.almg.gov.br/munmg/m43708.htm>>. Acesso em: 05 jun. 2010.

ASSIS, A. L.; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M. de; ACERBI JÚNIOR, J. W.; OLIVEIRA, A. D. de. Comparação de modelos polinomiais segmentados e não-segmentados na estimativa de diâmetros e volumes ao longo do fuste de *Pinus taeda*. *Cerne*, Lavras, v. 7, n. 1, p. 20-40, 2001.

ASSIS, A. L.; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M. de; OLIVEIRA, A. D. de. Avaliação de modelos polinomiais não-segmentados na estimativa de diâmetros e volumes comerciais de *Pinus taeda*. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 89-107, 2002.

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

BARROS, P. L. C.; SILVA JÚNIOR, A. T. Equação de volume para árvores de uma floresta tropical densa no município de Anapu, oeste do estado do Pará, Amazônia Oriental. *Revista Ciências Agrárias*, Belém, n. 51, p. 115-126, 2009.

CHICHORRO, J. F.; REZENDE, J. L. P.; LEITE, H. G. Equações de volume e de taper para quantificar multiprodutos da madeira em floresta atlântica. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 799-809, 2003.

CRUZ, E. S. *Dinâmica, modelagem do crescimento e cadeia de comercialização da candeia Eremanthus incanus (Less.) Less*. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

GRAYBILL, J. *Theory and application of the linear model*. Belmont: Duxbury, 1976. 704 p.

HRADETZKY, J. *Analyse und interpretation statistischer abränger keiten (Biometrische Beiträge zu aktuellen forschungsprojekten)*. Baden: Württemberg Mitteilungen der FVA, 1976. 146 p. (Abt. Biometric und Informatik, n. 21).

KOZAK, A.; MUNRO, D. P.; SMITH, J. H. G. Taper functions and their application in forest inventory. *Forest Chronicle*, Toronto, v. 45, n. 4, p. 278-283, 1969.

LARSON, P. R. Stem form development of forest trees. *Forest Science Monographs*, Washington, v. 5, n. 4, p. 1-42, 1963.

LEITE, H. G.; GAMA, J. R. V.; CRUZ, J. P.; SOUZA, A. L. Função de afilamento para *Virola surinamensis* (ROLL.) WARB. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 99-106, 2006.

MACHADO, S. A.; URBANO, E.; CONCEIÇÃO, M. B.; FIGUEIREDO FILHO, A.; FIGUEIREDO, D. J. Comparação de modelos de afilamento de tronco para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa* Schiede. *Boletim de Pesquisa Florestal*, Colombo, n. 48, p. 41-64, 2004.

MENDONÇA, A. R.; SILVA, G. F. da; OLIVEIRA, J. T. S.; NOGUEIRA, G. S.; ASSIS, A. L. Avaliação de funções de afilamento visando a otimização de fustes de *Eucalyptus* sp. para multiprodutos. *Cerne*, Lavras, v. 13, n. 1, p. 71- 82, 2007.

MORI, C. L. S. O.; BRITO, J. O.; SCOLFORO, J. R. S.; VIDAL, E. J.; MENDES, L. M. Influence of altitude, age, and diameter on yield and alpha-bisabolol content of candeia trees (*Eremanthus erythropappus*). *Cerne*, Lavras, v. 15, n. 3, p. 339-345, 2009.

- NOGUEIRA, G. S.; LEITE, H. G.; REIS, G. G.; MOREIRA, A. M. Influência do espaçamento inicial sobre a forma do fuste de árvores de *Pinus taeda* L. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 855-860, 2008.
- QUEIROZ, D.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARCE, J. E.; KOEHLER, H. S. Avaliação e validação de funções de afilamentos para *Mimosa scabrella* Benth em povoamentos da região metropolitana de Curitiba. *Floresta*, Curitiba, v. 36, n. 2, p. 183-199, 2006.
- QUEIROZ, D.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARCE, J. E.; KOEHLER, H. S. Identidade de modelos em funções de afilamentos para *Mimosa scabrella* Benth em povoamentos nativos da região metropolitana de Curitiba/PR. *Floresta*, Curitiba, v. 38, n. 2, p. 339-349, 2008.
- RUFINI, A. L.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D. de; MELLO, J. M. de. Equações volumétricas para o cerrado *sensu stricto*, em Minas Gerais. *Cerne*, Lavras, v. 16, n. 1, p. 1-11, 2010.
- SCHÖEPFER, W. *Automatisierung des massen, sorten and wertberechnung stenender waaldbestande schriftenreihe bad.* [S.l.]: Wurtf-Forstl., 1966.
- SCOLFORO, J. R. S.; CAMOLESI, J. F.; OLIVEIRA, A. D. de; MELLO, J. M. de; ACERBI JÚNIOR, F. W.; SILVA, C. P. C.; ANDRADE, I. S.; MELO, V. M. de; ABREU, E. C. R. Volume, peso de matéria seca e produção de óleo para candeia (*Eremanthus erythropappus*), em Minas Gerais. In: SCOLFORO, J. R.; OLIVEIRA, A. D.; ACERBI JÚNIOR, F. W. (Ed.). *Inventário florestal de Minas Gerais – equações de volume, peso de matéria seca e carbono para diferentes fisionomias da flora nativa*. Lavras: UFLA, 2008. cap. 7, p. 171-179.
- SCOLFORO, J. R. S.; PÉREZ, J. F. M.; MELLO, J. M. de; OLIVEIRA, A. D.; CAMOLESI, J. F.; BORGES, L. F. R.; ACERBI JÚNIOR, F. W. Estimativas de volume, peso seco, peso de óleo e quantidade de moirões para a candeia *Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish. *Cerne*, Lavras, v. 10, n. 1, p. 87-102, 2004.
- SCOLFORO, J. R. S.; RIOS, M. S.; OLIVEIRA, A. D. de; MELLO, J. M. de; MAESTRI, R. Acuracidade de equações de afilamento para representar o perfil do fuste de *Pinus elliottii*. *Cerne*, Lavras, v. 4, n. 1, p. 100-122, 1998.
- SILVA, L. M. S.; RODRIGUEZ, L. C. E.; CAIXETA FILHO, J. V.; BAUCH, S. C. Fitting a taper function to minimize the sum of absolute deviations. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 63, n. 5, p. 460-470, 2006.
- SOARES, P.; TOMÉ, M.; SKOVSGAARD, J. P.; VANCLAY, J. K. Evaluating a growth model for forest management using continuous forest inventory data. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 71, n. 3, p. 251-265, 1995.
- SOUZA, C. A. M. de; SILVA, G. F. da; XAVIER, A. C.; CHICHORRO, J. F.; SOARES, C. P. B.; SOUZA, A. L. Avaliação de modelos de afilamento segmentados na estimação da altura e volume comercial de fustes de *Eucalyptus* sp. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 453-463, 2008.
- STATGRAPHICS. *Statgraphics plus for Windows, version 2.1.* Manugistics Inc., Rockville, MD, USA, 1995.
- THIERSCH, C. R.; SCOLFORO, J. R. S.; BENTO, M. F. SISFLOR: sistema para análise de regressão com ênfase em modelos utilizados em biometria florestal. In: SIMPÓSIO DE ESTATÍSTICA APLICADA À EXPERIMENTAÇÃO AGRONÔMICA – SEAGRO, 10.; REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA – RBRAS, 48., 2003, Lavras. *Anais...* Lavras: UFLA, 2003. p. 140-145.
- THIERSCH, C. R.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D.; REZENDE, G. D. S. P.; MAESTRI, R. O uso de modelos matemáticos na estimativa da densidade básica da madeira em plantios de clones de *Eucalyptus* sp. *Cerne*, Lavras, v. 12, n. 3, p. 264-278, 2006.