

Modelos de *taper* empregados em florestas brasileiras nativas e em plantações florestais sem eucalipto e pinus

Valdir Carlos Lima de Andrade^{1*} Thais Schmitt²

1 Universidade Federal do Tocantins, Rua Badejos, Lote 7 - Chácaras 69/72, Caixa Postal 66, Gurupi-TO, CEP: 77.402-970.

2 Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, Universidade Federal do Tocantins, Rua Badejos, Lote 7 - Chácaras 69/72, Caixa Postal 66, Gurupi-TO, CEP: 77.402-970.

*Author for correspondence: vclandrade@uft.edu.br

Received: 18 July 2016 / Accepted: 27 November 2016 / Published: 31 March 2017

Resumo

O trabalho exposto consistiu em apresentar alguns dos principais resultados sobre o uso de modelos de *taper* em diferentes espécies nativas e exóticas, com exceção do pinus e do eucalipto, nas diferentes Regiões do Brasil. Muitos trabalhos foram realizados, principalmente, no Sul, Norte, Sudeste e Centro-Oeste. Sendo assim, buscou-se sintetizar os modelos mais utilizados, elegendo-se os melhores visando contribuir para os estudos sobre multiprodutos madeireiros em povoamentos florestais brasileiros inequidanos e equidanos diferentes do pinus e eucalipto. Pôde-se ver que os modelos de Schöpfer (1966), Hradetzky (1976) e Demaerschalk (1973) se destacam como os mais utilizados nos povoamentos florestais brasileiros analisados. Também, que há a necessidade de pesquisas neste sentido voltadas para povoamentos florestais nativos e região Nordeste do Brasil.

Palavras-chave: Afilamento do tronco, Multiprodutos, Mensuração Florestal.

Abstract

The present work consisted of presenting some of the main results about the use of *taper* models in different native and exotic species, except for pinus and eucalyptus, in the different regions of Brazil. Many works were carried out, mainly, in the South, North, Southeast and Center-West. Therefore, we tried to synthesize the most used models, choosing the best ones, aiming to contribute to the studies on multi-product wood in Brazilian forest stands of different ages and of the same age, different from pine and eucalyptus. It can be seen that the models of Schöpfer (1966), Hradetzky (1976) and Demaerschalk (1973) stand out as the most used in the Brazilian forest stands analyzed. Also, there is a need for research in this direction aimed at native forest stands and Northeast region of Brazil.

Keywords: Trunk sharpening, Multiproducts, Forest Measurement.

Introdução

A diversidade florestal brasileira inclui muitas espécies de alto valor comercial, sendo imprescindível que hajam estudos relativos ao emprego de modelos estatísticos para quantificar multiprodutos da madeira. Essa atividade, em sua maioria, se baseia na descrição do perfil do fuste das árvores, o que exige o emprego de modelos de *taper* a fim de se saber a distribuição do volume de madeira de diferentes usos comerciais para toras tendo comprimento pré-estabelecido e, ou, a se decidir pelo comprimento ideal e diâmetro comercial visando otimizar a produção florestal.

Muitos modelos de *taper* têm sido propostos e testados, já amplamente descritos e avaliados para eucalipto e pinus no Brasil, como se pode ver em: Mactague et al. (1989), Guimarães e Leite (1992), Figueiredo-Filho et al. (1996), Andrade e Leite (2001), Assis et al. (2002), Souza et al.

(2008), Andrade (2014), Campos et al. (2014), Muller et al. (2014), dentre muitos outros.

Por outro lado, ao se considerar outras espécies florestais em povoamentos nativos e plantados, percebe-se que há poucos trabalhos realizados, cabendo citar: Friedl (1989) e Figueiredo Filho et al. (2015), que trabalharam com dados de Araucária; Chichorro et al. (2003), que utilizaram dados amostrados em Mata Atlântica; Figueiredo et al. (2006), Leite et al. (2011) e Favalessa et al. (2012), que trabalharam com *Tectona grandis*; Leite et al. (2006), que empregaram dados de *Virola surinamensis*; Queiroz et al. (2006), que trataram com a espécie *Mimosa scabrella*; Soares et al. (2011), que utilizaram dados de plantio com diferentes espécies florestais brasileiras; Lanssanova et al. (2013), que empregaram dados coletados na Floresta Amazônica; e Muller et al. (2014) que utilizaram dados de Acacia.

O fato de existirem poucos estudos, especificamente para florestas nativas no Brasil, como os trabalhos de Chichorro et al. (2003) e Lanssanova et al. (2013), pode ser explicado pelo foco que se dá em otimizar a alta demanda dos produtos madeireiros disponíveis em plantios florestais, principalmente, com eucalipto e pinus. Também, pode-se incluir o fato de existir grande diversidade biológica e, conseqüentemente, diferentes perfis de tronco acarretando baixa precisão das equações de *taper* estimadas em povoamentos inequidanos. Mesmo assim, modelos de *taper*, são ferramentas importantes na obtenção do volume de partes do tronco, imprescindíveis para obter diversos cenários de produtos madeireiros e para otimizar o uso da madeira disponível também em matas nativas, desde que de acordo com a legislação brasileira que autorize o referido uso.

Portanto, diante do contexto exposto, esse trabalho teve como objetivo apresentar uma revisão bibliográfica sobre modelos de *taper* utilizados em matas nativas no Brasil, bem como, em plantios com espécies florestais diferentes do eucalipto e pinus.

Breve histórico dos modelos de *taper*

Os estudos relacionados à modelagem do volume individual de árvores começaram a ser desenvolvidos na primeira metade do século XX, com a criação de técnicas de análise de regressão. Hojer (1903), foi o primeiro a utilizar equações para descrever a forma do fuste da árvore estimulando vários estudos neste âmbito. Cabe-se citar os trabalhos sobre *taper* desenvolvidos da década de 1960 em diante, cujos modelos, conforme Andrade (2014), são amplamente avaliados no Brasil, quais sejam, modelos de Schöpfer (1966), Kozak et al. (1969), Demaerschalk (1972), Ormerod (1973), Goulding e Murray (1976), Hradetzky (1976), Max & Burkhardt (1976), Garay (1979), Biging (1984) e Clark et al. (1991).

Visando facilitar o entendimento sobre modelos de *taper*, Campos e Leite (2009) os classificaram em modelos

simples e modelos segmentados. Neste tocante, modelos simples referem-se aos modelos que representam o fuste das árvores em uma única equação, como os modelos de Schöepfer (1966), Kozak et al. (1969), Demaerschalk (1972), Ormerod (1973), Goulding e Murray (1976), Hradetzky (1976), Garay (1979) e Biging (1984). Já, quanto aos modelos segmentados, estes tratam de gerar equações de taper por seções do fuste sendo de ajuste mais trabalhoso, cabendo citar os modelos segmentados de Max e Burkhart (1976), Parresol et al. (1987) e Clark et al. (1991).

Modelos de taper mais difundidos no Brasil

Na revisão de trabalhos sobre modelos de taper, obteve-se os mais utilizados em mata nativa e diferentes espécies florestais plantadas no Brasil, exceto para eucalipto e pinus, cabendo citar os trabalhos de Friedl (1989), Chichorro et al. (2003), Figueiredo et al. (2006), Leite et al. (2006), Queiroz et al. (2006), Leite et al. (2011), Soares et al. (2011), Favalessa et al. (2012), Lansanova et al. (2013), Muller et al. (2014) e Figueiredo Filho et al. (2015). Desses trabalhos, apenas Friedl (1989) e Chichorro et al. (2003) não avaliaram diferentes modelos de taper, os quais, respectivamente, utilizaram diretamente os modelos de Kozak et al. (1969) e de Demaerschalk (1972).

Todavia, dentre os trabalhos que avaliaram vários modelos de taper, cerca de 20% inferiram destaque aos modelos de Schöepfer (1966) e Garay (1979), totalizando 40% dos trabalhos. Também, houve uma importância relativa de 10% dos trabalhos para cada um dos modelos de Goulding e Murray (1976), Hradetzky (1976), Demaerschalk (1972) e Biging (1984), o que totalizou outros 40%. Os 20% restantes pôde-se inferir aos modelos segmentados, com destaque ao modelo de Parresol et al. (1987).

O percentual de apenas 20%, encontrado para modelos segmentados, se explica pelo fato de os mesmos serem incluídos em estudos recentes, nos últimos três anos, conforme se nota enfoque dado por Lansanova et al. (2013), Favalessa et al. (2012) e Muller et al. (2014). Isso confere destaque aos modelos segmentados de taper, se considerado o fato de que desde a década de 1980 se utilizam modelos de taper nos tipos de florestas consideradas nesse estudo, cabendo citar o estudo feito por Friedl (1989).

Por outro lado, ao se considerar os três modelos de taper que mais se destacaram em cada trabalho analisado, o modelo de Schöepfer (1966) foi presente em 50% dos trabalhos, sendo que, os modelos de Hradetzky (1976) e Demaerschalk (1972), se destacaram cada um em 40%. Já, os modelos de Garay (1979) e Biging (1984), findaram cada um em 30% dos trabalhos. Para modelos segmentados de taper, notou-se a presença em cerca de 30% dos trabalhos como dentre os três melhores modelos. Nesse caso, destaque foi dado aos modelos de Max e Burkhart (1976), Parresol et al. (1987) e Clark et al. (1991). Portanto, os modelos de taper mais difundidos no Brasil, são os seguintes modelos não segmentados:

$$\left(\frac{d}{D}\right) = [\beta_0 + \beta_1(z) + \beta_2(z)^2 + \beta_3(z)^3 + \beta_4(z)^4 + \beta_5(z)^5] + \varepsilon \quad (\text{Schöepfer, 1966})$$

$$\left(\frac{d}{D}\right) = \beta_0 + \beta_1(z)^{\beta_1} + \beta_2(z)^{\beta_2} + \dots + \beta_n(z)^{\beta_n} + \varepsilon \quad (\text{Hradetzky, 1976})$$

$$\left(\frac{d}{D}\right)^2 = (10)^{2\beta_0} (D)^{(2\beta_1-2)} (H-h)^{2\beta_2} (H)^{2\beta_3} + \varepsilon \quad (\text{Demaerschalk, 1973})$$

$$\left(\frac{d}{D}\right) = \beta_0 \beta [1 + \beta_1 \ln(1 - \beta_2 h^{\beta_3} H^{-\beta_3})] + \varepsilon \quad (\text{Garay, 1979})$$

$$\left(\frac{d}{D}\right) = \beta_1 + \beta_2 \ln \left\{ 1 - (z)^{\left(\frac{\beta_1}{\beta_2}\right)} \left[1 - e^{\left(\frac{-\beta_1}{\beta_2}\right)} \right] \right\} + \varepsilon \quad (\text{Biging, 1984})$$

em que: d=diâmetro ao longo do tronco na altura h(cm), D=DAP(cm), H=altura total(m), h=altura no tronco onde se

mediu d(m), "z" = (h/H), β_i e p=coeficientes de regressão à serem estimados, ε =erro aleatório do modelo.

O fato de ocorrer maior percentual de uso para os modelos de Schöepfer (1966), Demaerschalk (1973), Hradetzky (1976), Garay (1979) e Biging (1984), cerca de 80% dos trabalhos conforme frisado no segundo parágrafo deste item, deve-se aos resultados satisfatórios destes modelos em diferentes condições e espécies florestais, por exemplo, em mata nativa brasileira como no trabalho de Chichorro et al. (2003) que, trabalhando com Mata Atlântica no norte do Espírito Santo, obtiveram um bom ajuste do modelo de Demaerschalk (1972) com um coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) de 0,935. Ainda, cabe citar o trabalho de Lansanova et al. (2013) que, avaliando funções de taper para espécies comerciais na Floresta Amazônia, concluíram pelo modelo de Demaerschalk (1972) com R^2_{aj} de 0,922 e erro padrão da estimativa (syx) de $\pm 8,5\%$.

Quanto aos plantios com *Tectona grandis*, Favalessa et al. (2012), analisando equações de taper na região Centro-Sul do Mato Grosso, obtiveram o modelo de Schöepfer (1966) como o de melhor ajuste com R^2_{aj} de 0,960 e syx de $\pm 8,5\%$. Também, Leite et al. (2011), obtiveram um R^2_{aj} de 0,781 para o modelo de Garay (1979). Já, Figueiredo et al. (2006), estudando modelos de taper no Acre, concluíram pelo modelo de Goulding e Murray (1976) com R^2_{aj} de 0,965 e syx de $\pm 8,9\%$.

Ao se considerar os plantios com outras espécies florestais no Brasil, por exemplo, para *Mimosa scabrella* no Paraná, Queiroz et al. (2006) optaram pelo modelo de Hradetzky (1976) com syx de $\pm 12,5\%$ e R^2_{aj} de 0,926. Já, para *Acacia mangium* na Zona da Mata mineira, Muller et al. (2014) destacaram o modelo segmentado de Parresol et al. (1987) com R^2_{aj} de 0,930. Ainda, Figueiredo Filho et al. (2015), trabalhando com *Araucaria angustifolia* no Paraná, utilizaram o modelo de Schöepfer (1966) que resultou em R^2_{aj} de 0,960 e syx $\pm 8,9\%$. Também, Leite et al. (2006), ao gerarem equações de taper para *Virola surinamensis* no Pará, obtiveram superioridade do modelo de Garay (1979) com R^2_{aj} de 0,783. Por fim, Soares et al. (2011), que trabalharam com onze espécies em Minas Gerais, obtiveram resultados favoráveis ao modelo de Biging (1984), em média, com R^2_{aj} de 0,888.

Diante dessas considerações, nota-se que existem incipientes estudos sobre taper em florestas nativas do Brasil e escassez na sua região nordeste. Neste caso, é imprescindível que pesquisas sejam desenvolvidas sobre taper para melhor conhecer os diferentes cenários de multiprodutos madeireiros, principalmente, disponíveis em matas nativas de diferentes formações florestais brasileiras, notadamente, como feito por Chichorro et al. (2003).

Por outro lado, considerando-se os três melhores modelos de taper de cada trabalho analisado, pôde-se chegar ao valor médio de R^2_{aj} igual à $0,890 \pm 0,080$ (média ± 1 desvio), com 50% dos trabalhos apresentando tal estatística entre 0,882 e 0,933 (percentis 25 e 75). Já, para syx, pôde-se ver que o valor médio é de $10,8\% \pm 4,0\%$ com 50% dos trabalhos apresentando-se entre 8,5% e 12,5% (intervalo interquartil).

Ao considerar os resultados do parágrafo anterior, pôde-se classificá-los em bom, médio e ruim. No caso da estatística R^2_{aj} , um valor médio está no intervalo interquartil contendo 50% dos trabalhos ($0,882 < R^2_{aj} < 0,933$) sendo que, abaixo e acima deste, pode-se esperar obter um valor ruim ($R^2_{aj} < 0,882$) e bom ($R^2_{aj} > 0,933$), respectivamente, contendo 25% dos trabalhos. Para a estatística syx, esse mesmo raciocínio pode ser feito, cujo valor médio está no intervalo: $8,5\% < syx < 12,5\%$, sendo que, abaixo e acima deste, pode-se esperar obter um valor bom ($syx < 8,5\%$) e ruim ($syx > 12,5\%$), respectivamente.

Considerações finais

Os modelos de taper de Schöepfer (1966), Hradetzky (1976), Demaerschalk (1973), Garay (1979) e Biging (1984) são os mais difundidos no Brasil para avaliação e quantificação de multiprodutos em diversas espécies florestais, inclusive nativas do Brasil. Dentre estes, os modelos de Schöepfer (1966), Hradetzky (1976) e Demaerschalk (1973) são os três modelos de taper preferenciais.

Devido ao fato de poucos trabalhos no Brasil darem enfoque na avaliação de modelos segmentados, a inferência desses pode ser mais bem destacada ao incluí-los em futuros trabalhos para mata nativa, o que parece ser tendência porque fazem parte de estudos bem recentes sobre o tema abordado nesse trabalho.

Diante disso, pode-se realçar que é imprescindível avultar trabalhos em diferentes tipos de matas nativas brasileiras e direcionar os estudos sobre taper à região nordeste do país, uma vez que não se encontrou trabalhos sobre o assunto tratado nesta região da federação. Isso porque é prioritário empreender a otimização do uso múltiplo da madeira do ponto de vista técnico, econômico, social e ambiental. Nesse caso, modelos de taper são imprescindíveis.

Referências

- Andrade VCL (2014) Modelos de taper do tipo expoente-forma para descrever o perfil do fuste de árvores. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 34(80): 271-283. doi: 10.4336/2014.pfb.3480614.
- Andrade VCL, Leite HG (2001) Uso da geometria analítica para descrever o taper e quantificar o volume de árvores individuais. *Revista Árvore*, 25(4): 481-486.
- Assis AL, Scolforo JRS, Mello JM, Oliveira AD (2002) Avaliação de modelos polinomiais não segmentados na estimativa de diâmetros e volumes comerciais de *Pinus taeda*. *Ciência Florestal*, 12(1): 89-107.
- Biging GS (1984) Taper equations for second mixed conifers of Northern California. *Forest Science*, 30(4): 1103-1117.
- Campos BPF, Binoti DHB, Silva ML, Leite HG, Binoti MLMS (2014) Efeito do modelo de taper utilizado sobre a conversão de fustes de árvores em multiprodutos. *Scientia Forestalis*, 42: 01-06.
- Chichorro F, Resende JLP, Leite HG (2003) Equações de volume e de taper para quantificar multiprodutos da madeira em Floresta Atlântica. *Revista Árvore*, 27 (6): 799-809.
- Clark A, Souter RA, Schlaegel BE (1991) *Stem profile equations for Southern tree species*. Asheville: Southeastern Forest Experiment Station, 113 p.
- Demaerschalk JP (1972) Converting volume equations to compatible taper equations. *Forest Science*, 18 (3): 241-245.
- Favalessa CM, Ubiali JA, Caldeira SF, Drescher R (2012) Equações de sortimentos para *Tectona grandis* na região centro-sul de Mato Grosso. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 32(7): 389-399.
- Figueiredo EO, Scolforo JRS, Oliveira, AD (2006) Seleção de modelos polinomiais para representar o perfil e volume do fuste de *Tectona grandis* L. f. *Acta Amazonica*, 36(4): 465-482.
- Figueiredo Filho A, Retslaff FAZ, Kohler SV, Becker M, Brandes D (2015) Efeito da idade no afilamento e sortimento em povoamentos de *Araucaria angustifolia*. *Floresta*, 22(1): 50-59.
- Figueiredo Filho A, Borders BE, Hitch KL (1996) Taper equations for *Pinus taeda* in Southern Brazil. *Forest Ecology and Management*, 83(1): 39-46.
- Friedl RA (1989) *Dinâmica e prognose da forma dos fustes em povoamentos plantados de Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze*. Dissertação, Universidade Federal do Paraná, 167 f.
- Garay L (1979) *A taper model for entire stem profile including buttressing*. Seattle: Institute of Forest Products, College of Forest Resources, University of Washington, 64 p. (Tropical forest utilization system, 8. Contribution, 36).
- Goulding CJ, Murray JC (1976) Polynomial taper equations that are compatible with tree volume equations. *New Zealand Journal of Forest Science*, 5(3): 313-322.
- Guimarães DP, Leite HG (1992) Um novo modelo para descrever o perfil do tronco. *Revista Árvore*, 16(2): 170-180.
- Hradetzky J (1976) *Analyse und interpretation statistischer abränger keiten. (Biometrische Beiträge zu aktuellen forschungs projekten)*. Baden: Württemberg Mitteilungen der FVA (Abt. Biometric und Informatik, 21). 146p.
- Kozak A, Munro DP, Smith JHG (1969) Taper functions and their application in forest inventory. *Forest Chronicle*, 45(4): 278-283.
- Lanssanova LR, Ubiali JA, Arce JE, Pelissari AL, Favalessa CMC, Drescher R (2013) Avaliação de funções de taper para a estimativa de diâmetro de espécies florestais comerciais do bioma amazônico mato-grossense. *Floresta*, 43(2): 215-224.
- Leite HG, Gama JRV, Cruz JP, Souza AL (2006) Função de taper para *Virola surinamensis* (Roll.) Warb. *Revista Árvore*, 30(1): 99-106.
- Leite HG, Oliveira-Neto RR, Monte MA, Fardin L, Alcantara AM, Binoti MLMS, Castro RVO (2011) Modelo de taper de cerne de *Tectona grandis* L.f. *Scientia Forestalis*, 39(89): 53-59.
- Max TA, Burkhart HE (1976) Segmented polynomial regression applied to taper equations. *Forest Science*, 22(3): 283-289.
- Mactague JP, Batista JLF, Steiner LH (1989) Equações de volume total, volume comercial e forma de tronco para plantações de *Eucalyptus* nos Estados de São Paulo e Rio de Janeiro. *Revista do IPEF*, 41/42: 56-63.
- Muller MD, Salles TT, Paciulo DSC, Brighenti AM, Castro CRT (2014) Equações de altura, volume e afilamento para eucalipto e acácia estabelecidos em sistema silvipastoril. *Floresta*, 44(3): 473-484.
- Ormerod DW (1973) A simple bole model. *Forestry Chronicle*, 49(3): 136-138.
- Parresol BR, Hotvedt JE, Cao QV (1987) A volume and taper prediction system for bald cypress. *Canadian J. of Forest Research*, 17(3): 250-259.

- Queiroz D, Machado AS, Figueiredo-Filho A, Arce JE, Koehler HS (2006) Avaliação e validação de funções de afilamento para *Mimosa scabrella* Bentham em povoamentos da Região Metropolitana de Curitiba/PR. *Floresta*, 36(2): 183-199.
- Schopfer W (1966) *Automatisierung des Massen, Sorten und Wertberechnung stenender Waldbestände Schriftenreihe* Bad. [S.l.]: Wurt-Forstl., Não paginado.
- Soares CPB, Martins FB, Leite-Jr HU, Silva GF, Figueiredo LTM (2011) Equações hipsométricas, volumétricas e de taper para onze espécies nativas. *Revista Árvore*, 35(5): 1039-1051.
- Souza CAM, Chassot T, Finger CAG, Schneider PR, Fleig FD (2008) Modelos de taper para o sortimento do fuste de *Pinus taeda* L. *Ciência Rural*, 38(9): 2506-2511.