

REVISÃO SOBRE EQUAÇÕES EMPREGADAS NA DESCRIÇÃO DO PERFIL DO FUSTE DE ÁRVORES DE EUCALIPTO NO BRASIL

ANDRADE, Valdir Carlos Lima de¹; FREITAS, Brenno Cunha²;
DUARTE, Victor Braga Rodrigues³; CARVALHO, Samuel de Pádua Chaves⁴

RESUMO (REVISÃO SOBRE EQUAÇÕES EMPREGADAS NA DESCRIÇÃO DO PERFIL DO FUSTE DE ÁRVORES DE EUCALIPTO NO BRASIL) – O objetivo desta revisão bibliográfica foi apresentar a situação atual sobre os testes de modelos de afilamento em plantios com o gênero *Eucalyptus* nas diferentes regiões do Brasil. Sendo assim, esta revisão buscou sintetizar resultados dos modelos mais utilizados, onde se observou que o modelo mais utilizado no Brasil é o de Hradetzky, seguido de Schöepfer e Garay. O estado da Bahia é a maior fonte de dados para estudos com eucalipto no país, sendo o clone híbrido entre *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis* o mais investigado. Quanto às principais estatísticas utilizadas na avaliação destes modelos, o erro padrão residual variou de 3,44% a 7,74% e o coeficiente de determinação ajustado de 0,950 a 0,995. Os gráficos de resíduos que predominaram na análise foram resíduos em cm em relação ao diâmetro estimado.

Palavras-chave: Perfil de tronco; multiprodutos; sortimento; volumetria.

ABSTRACT (REVIEW ON EQUATIONS EMPLOYED IN THE DESCRIPTION OF THE PROFILE OF THE EUCALYPTUS TREES IN BRAZIL) – The purpose of this review was to present the current situation about the taper models applied in Forest *Eucalyptus* plantations in different regions at Brazil. So, our objective were synthesize results from the most used models, where observed that the most common model used at Brazil is Hradetzky's, followed by Schöepfer and Garay. Bahia state is the largest source of data with genus *Eucalyptus*, highlighted for the hybrid clonal *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. About the main statistics applied in these papers, the standard residual error was the value between 3.44% and 7.74%. The Adjusted Coefficient of Determination between 0.95 and 0.99. And finally, the residuals analysis indicated that the most common investigation showed the residuals in cm scale compared with the estimated diameter.

Keywords: Trunk profile; multiproduct; assortment; volumetry.

¹ Docente do curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Tocantins - UFT, Gurupi/TO - Brasil, e-mail: vclandradeuft@gmail.com.

² Engenheiro Florestal, Mestre em Ciências Florestais e Ambientais, Universidade Federal do Tocantins - UFT, Gurupi/TO - Brasil, e-mail: brennofreitas_10@hotmail.com.

³ Engenheiro Florestal, Mestrando em Ciências Florestais e Ambientais, Universidade Federal do Tocantins - UFT, Gurupi/TO - Brasil, e-mail: victorbrduarte@gmail.com.

⁴ Docente do curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT, Cuiabá/MT, e-mail: spccarvalho@ufmt.br.

1. INTRODUÇÃO

O eucalipto, nome popular no Brasil a um grande número de espécies que constam no gênero *Eucalyptus*, é originário da Austrália e ilhas circunvizinhas, e foi introduzido no Brasil por volta de 1903 no estado do Rio Grande do Sul. Ao longo do tempo, obteve no país um grande impulso de plantios, por meio de incentivos fiscais entre 1965 e 1988 (LIMA, 1996; MARCHIORI; SOBRAL, 1997; ANTONÂNGELO; BACHA, 1998). Também, apresentou boa adaptação devido as condições climáticas e dos solos que lhe foram favoráveis, resultando em uma vasta gama de utilizações para produção de pasta celulósica e papel, serraria, mourão, carvão vegetal, construção civil e diversos outros usos madeireiros e não madeireiros.

Atualmente, a área plantada no Brasil está em torno de 7,8 milhões de hectares, dos quais, 5,7 milhões são de plantios com espécies do gênero *Eucalyptus* (IBÁ, 2019). Esses plantios se encontram distribuídos, principalmente, nos estados de Minas Gerais (24%), São Paulo (17%), Mato Grosso do Sul (16%) e Bahia (11%). Portanto, neste cenário de área plantada com eucalipto e em virtude da necessidade de otimização do seu potencial de produção madeireira, se

apercebe que o emprego de equações de perfil do fuste é notório para melhor balizar a tomada de decisões nos empreendimentos florestais com eucalipto.

Se averigua, então, uma conjuntura bastante favorável ao estudo, desenvolvimento e testes de equações de perfil do fuste de eucalipto. Fato este fundamentado, atualmente, pelo grande número de trabalhos conduzidos no Brasil sobre este tema, onde se atesta um acúmulo maior do que os cerca de 57% compilados no período de 2010 a 2018 por Andrade et al. (2019). Dentro deste percentual, se encontram uma grande quantidade de estudos voltados aos plantios com eucalipto, uma vez que representam cerca de 33,8% dos trabalhos já desenvolvidos no país desde seu início por volta da década de 1970.

Diante deste contexto, se justifica uma revisão bibliográfica sobre equações de perfil do fuste, exclusivamente, ajustadas para plantios com eucalipto no Brasil tendo a perspectiva de identificar os principais modelos estatísticos já testados, tanto em diferentes regiões do país bem como, nas diferentes espécies do gênero *Eucalyptus*.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Modelos de perfil do fuste de eucalipto utilizados no Brasil

No Brasil, vários modelos estatísticos já foram estudados para gerar equações de perfil do fuste em diferentes espécies do gênero *Eucalyptus*, cabendo citar: McTague et al. (1989), Guimarães e Leite (1992), Schneider et al. (1996), Andrade e Leite (2001), Pires e Calegario (2007), Souza et al. (2008), Oliveira et al. (2009), Miguel et al. (2011), Muller et al. (2014), Andrade (2014), Miguel et al. (2015), Souza et al. (2016), Azevedo et al. (2017), Lustosa Junior et al. (2017), Souza et al. (2018), Cerqueira et al. (2018), Alves et al. (2019), Farias et al. (2019), Terra e Andrade (2019), dentre outros.

Tomando-se como base uma revisão bibliográfica com enfoque no eucalipto, foram identificados os modelos estatísticos mais testados para gerar equações de perfil do seu fuste no Brasil, quais sejam: Schöepfer (1966), Kozak et al. (1969), Demaerschalk (1972), Hradetzky (1976), Max e Burkhart (1976), Garay (1979), Biging (1984), Parresol et al. (1987) e Kozak (1988). Destes, constatou-se que houve proeminência dos modelos de Schöepfer (1966), Hradetzky (1976), Garay (1979), Max e Burkhart (1976), Biging (1984) e Kozak (1988) (Tabela 1).

Tabela 1. Modelos estatísticos muito proeminentes para gerar equações de perfil do tronco de eucalipto no Brasil

| Autor | Modelo estatístico |
|---------------------------|--|
| (1) Schöepfer (1966) | $\left(\frac{d_i}{d}\right) = [\beta_0 + \beta_1(z) + \beta_2(z)^2 + \beta_3(z)^3 + \beta_4(z)^4 + \beta_5(z)^5] + \varepsilon$ |
| (2) Hradetzky (1976) | $\left(\frac{d_i}{d}\right) = \beta_0 + \beta_1(z)^{p_1} + \beta_2(z)^{p_2} + \dots + \beta_n(z)^{p_n} + \varepsilon$ |
| (3) Max e Burkhart (1976) | $\left(\frac{d_i}{d}\right) = [\beta_1(z - 1) + \beta_2(z^2 - 1) + \beta_3(a_1 - z)^2 I_1 + \beta_4(a_2 - z)^2 I_2]^{0,5} + \varepsilon$ |
| (4) Garay (1979) | $\left(\frac{d_i}{d}\right) = \beta_0 \beta [1 + \beta_1 \text{Ln}(1 - \beta_2(z)^{\beta_3})] + \varepsilon$ |
| (5) Biging (1984) | $\left(\frac{d_i}{d}\right) = \beta_1 + \beta_2 \text{Ln} \left[1 - (z)^{\frac{1}{3}} \right] \left(1 - e^{\frac{-\beta_1}{\beta_2}} \right) + \varepsilon$ |
| (6) Kozak (1988) | $(d) = \beta_0(D)^{\beta_1} \beta_2^{(D)} (k1) [\beta_3(z^2) + \beta_4 \text{Ln}(z+0,001) + \beta_5(\sqrt{z}) + \beta_6(e^z) + \beta_7\left(\frac{D}{H}\right)] + \varepsilon$ |

d_i =diâmetro na altura h_i (cm), d =DAP(cm), h =altura total(m), h_i =altura no tronco onde se mediu d_i (m), $z = \left(\frac{h_i}{h}\right)$, β_i e p =parâmetros da regressão à serem estimados, a_1 e a_2 = pontos de ligação dos polinômios, I_i : 1 se $z < a_i$; e I_i : 0 se $z > a_i$, ε =erro aleatório do modelo.

A partir da análise de 26 trabalhos, se pode verificar a frequência de utilização dos modelos que mais se sobressaíram na caracterização do perfil do tronco, sendo considerados sua classificação em até o segundo lugar. Neste caso, o modelo que mais se destacou em plantios com

eucalipto no Brasil, foi o modelo de Hradetzky com 28,6% dos trabalhos, seguido dos modelos de Schöpfer (20,0%) e Garay (17,1%). Outros modelos, como de Kozak (11,4%) e Biging (8,6%), também ficaram proeminentes quanto a quantidade de trabalhos analisados (Figura 1).

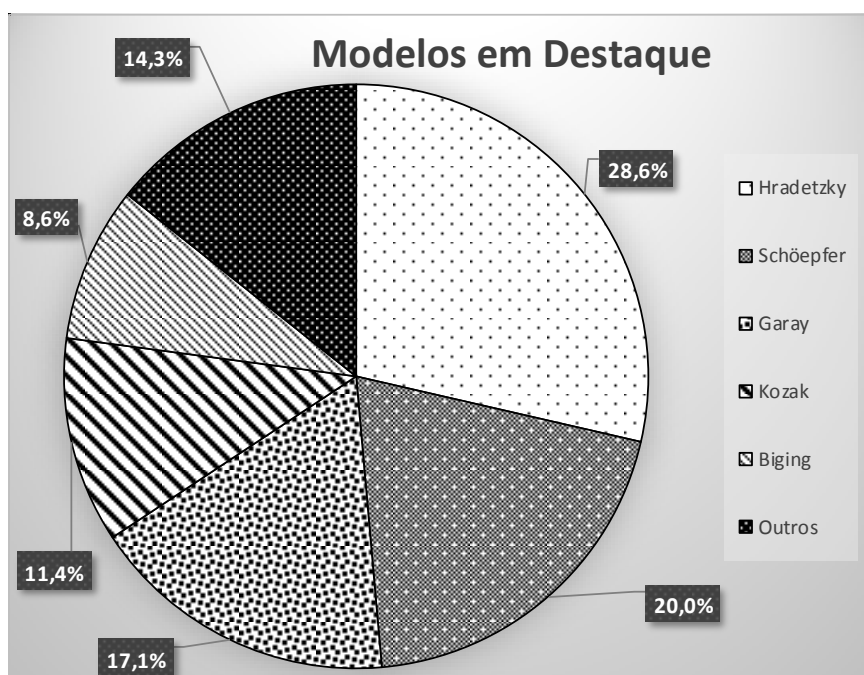


Figura 1. Modelos de taper com maior destaque na caracterização do perfil do tronco de eucalipto no Brasil. Outros=modelos de Demaerschalk, Parresol, Max e Burkhart, Bi (2000), Kozak (2004), dentre outros.

Considerando-se a situação por região administrativa (Figura 2.a), se observa que o cenário identificado mostrou serem as regiões nordeste e sudeste como as que mais fomentaram os estudos conduzidos sobre o taper de eucalipto, com um total de 63,3% dos trabalhos desenvolvidos. Isso se explica, porque são regiões que constituem em sua parte os

estados com maior área plantada no Brasil, tais como: BA (33,3%), MG (20,0%) e SP (10,0%), que juntos detém em torno de 52% da área plantada com eucalipto (Figura 2.b).

Por outro lado, ao se considerar as diferentes espécies de eucalipto em plantios comerciais no Brasil, observou-se trabalhos com *E. saligna*, *E.*

camaldulensis, tendo maior difusão de trabalhos com as espécies do híbrido de *Eucalyptus urophylla* com *Eucalyptus*

grandis, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* (Figura 3), com a maioria expressiva de 64,3% dos trabalhos.

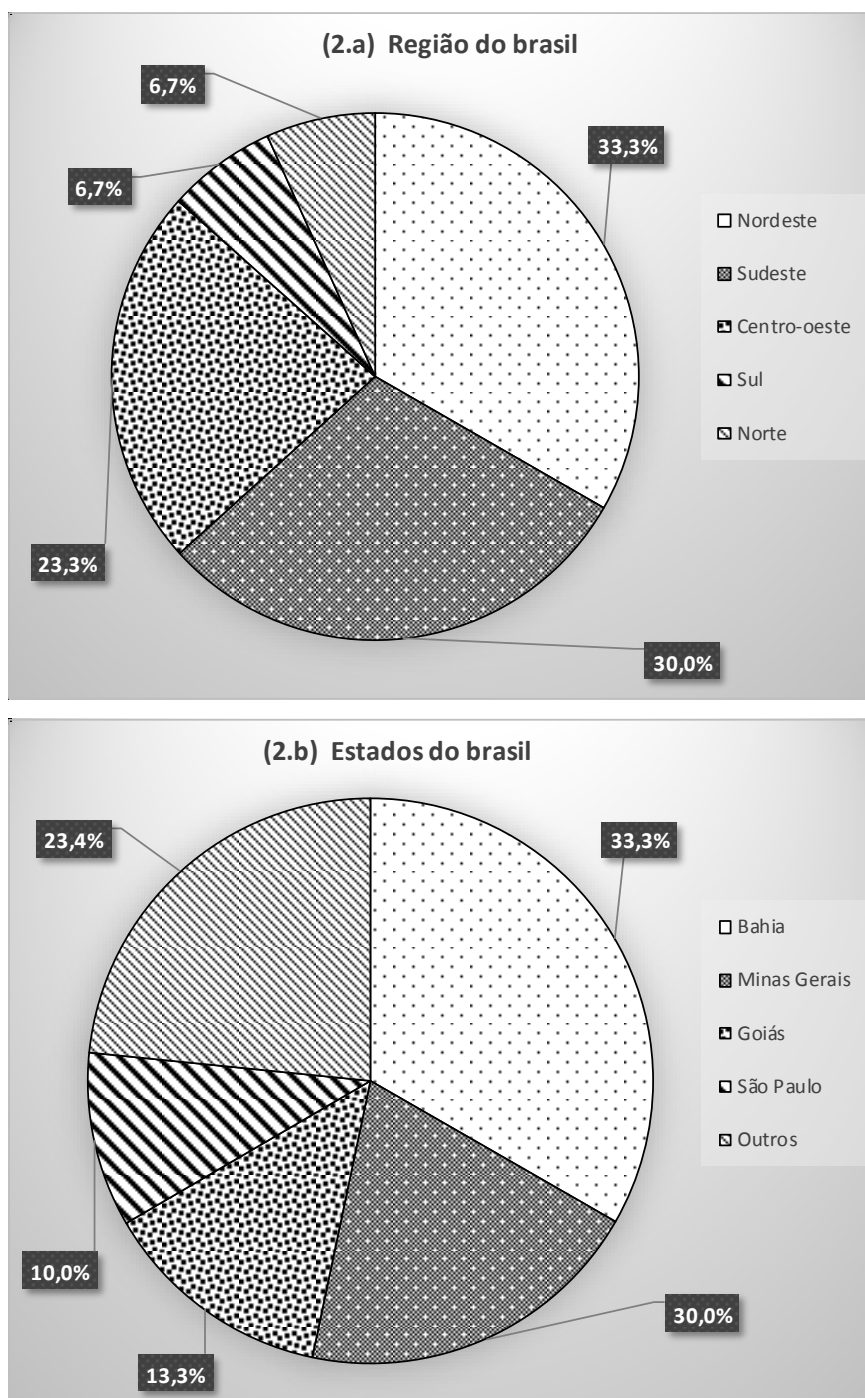


Figura 2. Regiões e estados do Brasil que mais fornecem dados sobre eucalipto.

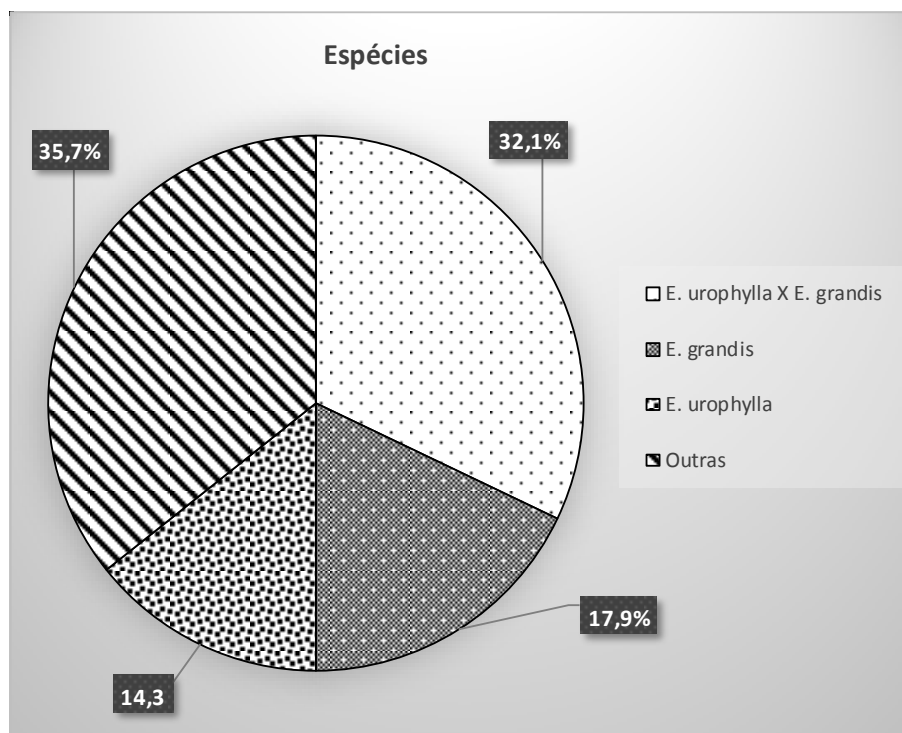


Figura 3. Espécies utilizadas nos trabalhos envolvendo modelos de taper no Brasil.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, se observou grande gama de modelos de taper presentes em estudos para o gênero *Eucalyptus* no Brasil, sendo o estado da Bahia a maior fonte de dados para estudos sobre taper no país e que o híbrido urograndis foi o material genético de maior enfoque.

De forma geral, as melhores equações de perfil do tronco de eucalipto advêm do ajuste dos modelos de Schöepfer e Hradetzky, presentes em 48,6% dos trabalhos realizados. Também, se pôde observar que o modelo de Garay (1979) apresentou maior potencial para uso em

plantios de eucalipto em 17,1% dos trabalhos analisados

Quanto aos estados da federação, os Estados da Bahia e Minas Gerais são os mais frequentes em ceder dados para estudos sobre taper, com 33,3% e 20,0%, respectivamente, dos trabalhos desenvolvidos no Brasil com eucalipto. Já, considerando espécies utilizadas, o urograndis é mais frequente nos estudos, com cerca de 32,1% seguido do *Eucalyptus grandis* presente em 17,9% dos estudos.

Considerando critérios estatísticos de análises, em totós os estudos predominaram o EPR e o R^2_{aj} , sendo observada uma variação de 3,44% a 7,74%

para EPR e de 0,950 a 0,995 para R^2_{aj} . Também, se observou destaque para os gráficos de resíduos que predominaram com uso dos resíduos em relação diâmetro estimado, ambos em cm.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, J. A.; ISAAC-JUNIOR, M. A.; CALEGARIO, N.; POSSATO, E. L.; MELO, e E. A. Avaliação de funções de afilamento de expoente-variável para árvores de *Eucalyptus* spp. **Scientia Forestalis**, v. 47, n. 121, p. 45-58, 2019.

ANDRADE, V. C. L. Modelos de taper do tipo expoente-forma para descrever o perfil do fuste de árvores. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, p. 271-283, 2014.

ANDRADE, V. C. L.; GAMA, R. C.; TERRA, D. L. C. V. Considerações sobre modelos de taper no Brasil. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal da FAEF**, v. 33, n. 1, p. 1-16, 2019.

ANDRADE, V. C. L.; LEITE, H. G. Uso da geometria analítica para descrever o taper e quantificar o volume de árvores individuais. **Revista Árvore**, v. 25, n. 4, p. 481-486, 2001.

ANTONÂNGELO, A.; BACHA, C. J. I. As fases da silvicultura no Brasil. **Revista Brasileira de Economia**, v. 52, n. 1, p. 207-238, 1998.

AZEVEDO, G. B. D.; AZEVEDO, G. T. D. O. S.; CASTRO, R. V. D. O.; BARRETO-GARCIA, P. A. B.; REZENDE, A. V. Bole profile of eucalyptus under two conduction regimes in the southwest region of the Brazilian

state Bahia. **Revista Árvore**, v. 41, n. 2, 2017.

CAMPOS, B. P. F; BINOTI, D. H. B; LOPES, da SILVA, M, L.; LEITE, H. G.; BINOTI, M. L. M. S. Efeito do modelo de afilamento utilizado sobre a conversão de fustes de árvores em multiprodutos. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 104, p. 513-520, 2014.

CERQUEIRA, C. L.; MÔRA, R.; TONINI, H. Forma do fuste de eucalipto em diferentes arranjos de plantio e espaçamentos. **Advances in Forestry Science**, v. 4, n. 3, p. 137-141, 2017.

CERQUEIRA, C. L.; MÔRA, R.; TONINI, H.; ARCE, J. E.; CARVALHO, S. P. C.; CIARNOSCHI, L. D. Funções de afilamento para eucalipto em sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta. **Advances in Forestry Science**, Cuiabá, v. 5, n. 4, p.479-485, 2018.

FARIAS, K. J.; NICOLETTI, M. F.; DE AGUIAR, N. S. Quantificação do volume total por meio de modelos volumétricos e de afilamento em *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 1, p. 33-40, 2019.

GUIMARÃES, D. P.; LEITE, H. G. Um novo modelo para descrever o perfil do tronco. **Revista Árvore**, v. 16, n. 2, p. 170-180, 1992.

LIMA, W. P. **Impacto ambiental do eucalipto**. 2.ed. São Paulo, Universidade de São Paulo, 1996.

LUSTOSA JUNIOR, I. M.; DE OLIVEIRA LIMA, M. B.; NASCIMENTO, B. G.; DE MEIRA JUNIOR, M. S.; CASTRO, R. V. O. Modelos de afilamento e otimização de multiprodutos de um povoamento de *Eucalyptus* não desbastado. **JOURNAL**

OF NEOTROPICAL AGRICULTURE,
v. 4, n. 5, p. 59-65, 2017.

MARCHIORI, J. N. C.; SOBRAL, M.
Dendrologia das Angiospermas:
Myrtales. Santa Maria/RS: Editora da
UFSM, 1997.

McTAGUE, J. P.; BATISTA, J. L. F.;
STEINER, L. H. 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**, v. 41, n. 42, p. 56-63, 1989.

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

MIGUEL, E. P.; CERDEIRA, A. L. N.;
AZEVEDO, G. B.; AZEVEDO, G. T. O.
S.; HUMBERTO, A.; PEREIRA, R. S.
Compatibility between wood volume
estimation methods in a *Eucalyptus*
stand. **Australian Journal of Basic and
Applied Sciences**, v. 9, n. 36, p. 20-26,
2015.

MIGUEL, E. P.; MACHADO, S. do A.;
FIGUEIREDO FILHO, A.; ARCE, J. E.
Modelos polinominiais para representar o
perfil e o volume do fuste de *Eucalyptus
urophylla* na região norte do estado de
Goiás. **Revista Floresta**, v. 41, n. 2, p.
355-368, 2011.

MÔRA, R.; SILVA, G. F.; GONÇALVES,
F. G.; SOARES, C. P. B.; CHICHORRO,
J. F.; CURTO, R. A. Análise de diferentes
formas de ajuste de funções de afilamento.
Scientia Forestalis. v. 42, n. 102, p. 237-
49, 2014.

MÜLLER, M. D.; SALLES, T. T.;
PACIULLO, D. S. C.; BRIGHENTI, A.
M.; DE CASTRO, C. R. T. Equações de

altura, volume e afilamento para eucalipto
e acácia estabelecidos em sistema
silvipastoril. **Floresta**, v. 44, n. 3, p. 473-
484, 2014.

OLIVEIRA, M. L. R.; LEITE, H. G.;
GARCIA, S. L. R. CAMPOS, J. C. C.;
SOARES, C. P. B.; SANTANA, R. C.
Estimação do volume de árvores de clones
de eucalipto pelo método da similaridade
de perfis. **Revista Árvore**, v. 33, n. 1, p.
133-141, 2009.

PIRES, L. M.; CALEGÁRIO, N. Ajuste de
modelos estocásticos lineares e não
lineares para a descrição do perfil
longitudinal de árvores. **Revista Árvore**,
v. 31, n. 5, p. 845 - 852, 2007.

RIBEIRO, J. R.; ANDRADE, V. C. L.
Equações de Perfil do Tronco para
Eucalyptus camaldulensis Dehnh no
Centro-sul Tocantinense. **FLORAM -
Revista Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 4,
p. 534-543, 2016.

SCHIKOWSKI, A. B.; CORTE, A. P. D.;
SANQUETTA, C. R. Estudo da forma do
fuste utilizando redes neurais artificiais e
funções de afilamento. **Pesquisa Florestal
Brasileira**, Colombo, v. 35, n. 82, p. 119-
127, 2015.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.,
KLEIN, J. E. M. Forma de tronco e
sortimentos de madeira de *Eucalyptus
grandis* Maiden. para o Estado do Rio
Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa
Maria, v.7, n.1, p.85-91, 1996.

SOUZA, C. A. M.; SILVA, G. F.;
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**, v. 32, p. 453-463,
2008.

SOUZA, G. S. A. D.; COSENZA, D. N.;
ARAÚJO, A. C. D. S. C.; PIMENTA, L.
V. A.; SOUZA, R. B.; ALMEIDA, F. M.;
LEITE, H. G. Evaluation of non-linear
taper equations for predicting the diameter
of eucalyptus trees. **Revista Árvore**, v. 42,
n. 1, p. 1-10, 2018.

SOUZA, R. R.; NOGUEIRA, G. S.;
MURTA JUNIOR, L. S.; PELLI, E.;
OLIVEIRA, M. L. R.; ABRAHÃO, C. P.;
LEITE, H. G. Forma de fuste de árvores
de *Eucalyptus* em plantios com diferentes
densidades iniciais. **Scientia Forestalis**, v.
44, n. 109, p. 33-40, 2016.

TERRA, D. L. C. V.; ANDRADE, V. C. L.
Modelos estatísticos para descrever o perfil
do tronco do clone GG100 no Tocantins,
Brasil. **Revista de Ciências
Agroveterinárias**, Lages, v. 18, n. 4, p.
421-429, 2019.