



**Universidade Federal do Tocantins
Campus Universitário de Gurupi
Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais**

BRENNO CUNHA FREITAS

**MODELOS DE TAPER PARA *Corymbia citriodora* NO SUL DO
ESTADO DO TOCANTINS**

**GURUPI - TO
2017**



**Universidade Federal do Tocantins
Campus Universitário de Gurupi
Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais**

BRENNO CUNHA FREITAS

**MODELOS DE TAPER PARA *Corymbia citriodora* NO SUL DO
ESTADO DO TOCANTINS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Tocantins como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Valdir Carlos Lima de Andrade

**GURUPI - TO
2017**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

F866m Freitas, Brenno Cunha.
MODELOS DE TAPER PARA *Corymbia citriodora* NO SUL DO
ESTADO DO TOCANTINS. / Brenno Cunha Freitas. – Gurupi, TO,
2017.

53 f.

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do
Tocantins – Câmpus Universitário de Gurupi - Curso de Pós-
Graduação (Mestrado) em Ciências Florestais e Ambientais, 2017.

Orientador: Valdir Carlos Lima de Andrade

1. Taper. 2. Variável binária. 3. Diâmetro. 4. *Corymbia citriodora*. I.
Título

CDD 628

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de
qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que
citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime
estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da
UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**



Defesa nº 054/2017

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE BRENNO CUNHA FREITAS, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS.

Aos 28 dias do mês de setembro do ano de 2017, às 14:20 horas, na sala 01, edifício Bloco D, do Campus de Gurupi, da Universidade Federal do Tocantins – UFT, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Orientador Dr. VALDIR CARLOS LIMA DE ANDRADE da Universidade Federal do Tocantins, Prof Dr RENATO DE ALMEIDA SARMENTO da Universidade Federal do Tocantins e Prof Dr AURELIO VAZ DE MELO da Universidade Federal do Tocantins, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de BRENNO CUNHA FREITAS, intitulada "**Modelos de taper avaliados para *Eucalypto citriodora* no sul do Tocantins**". Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo parecer favorável à aprovação, com as devidas ressalvas e correções apontadas pela banca examinadora, habilitando-o ao título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais.

Nada mais havendo a tratar, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Dr. Valdir Carlos Lima de Andrade
Universidade Federal do Tocantins
Orientador e presidente da banca examinadora

Dr. Renato de Almeida Sarmento
Universidade Federal do Tocantins
Primeiro examinador

Dr. Aurélio Vaz de Melo
Universidade Federal do Tocantins
Segundo examinador

Gurupi, 28 de setembro de 2017.

Marcos Giongo
Coordenador do Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais

DEDICATÓRIA E AGRADECIMENTO

A esta universidade, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a janela que hoje vislumbro um horizonte superior, eivado pela acendrada confiança no mérito e ética aqui presentes.

Ao professor Valdir Carlos Lima de Andrade pela paciência na orientação e incentivo que tornaram possível a conclusão deste trabalho.

A minha família, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Aos meus colegas, amigos e afetos que sempre estiveram presentes ao meu lado dando o incentivo inerente a qualquer conquista.

Ao programa de pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais e ao CAPES pela concessão de bolsa durante esta jornada.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo avaliar modelos de taper para *Corymbia citriodora* com 55 meses de idade no Sul do estado do Tocantins. Foram utilizadas 35 árvores amostras cubadas com a obtenção dos diâmetros com e sem casca nas posições 0,2 m, 0,4 m, 0,7 m, 1,3m, 2,7 m e, a partir deste ponto em diante a cada 2 metros até um diâmetro em torno de 1,0 cm com casca. Para avaliação dos modelos utilizou-se as seguintes estatísticas: coeficiente de determinação ajustado, erro padrão da estimativa, distribuição gráfica dos resíduos, média dos desvios absolutos, desvio padrão das diferenças, soma dos quadrados dos resíduos relativos, média dos desvios percentuais, raiz quadrada do erro médio, viés e coeficiente de correlação múltipla. Além disso, avaliou-se a viabilidade da utilização da variável binária "Tx" no ajuste simultâneo para dados com e sem casca. Concluiu-se, portanto, que o modelo de Muhairwe I obteve os melhores resultados para as estatísticas utilizadas, bem como a confirmação da viabilidade em se obter o ajuste diamétrico com uma só equação através da inclusão da variável Tx.

Palavras-chave: taper; variável binária; diâmetro; *Corymbia citriodora*

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate taper models for *Corymbia citriodora* at 55 months of age in the southern state of Tocantins. Thirty-five trees were used to obtain the diameters with and without bark at the positions 0.2 m, 0.4 m, 0.7 m, 1.3 m, 2.7 m and from this point forward every 2 meters to a diameter of about 1.0 cm in bark. For the evaluation of the models, the following statistics were used: adjusted coefficient of determination, standard error of the estimate, graphical distribution of the residuals, mean absolute deviations, standard deviation of the differences, sum of the squares of relative residues, mean of the percentage deviations, square root of mean error, bias and multiple correlation coefficient. In addition, we evaluated the feasibility of using the binary variable "Tx" in the simultaneous adjustment for data with and without shell. It was concluded, therefore, that the Muhairwe I model obtained the best results for the statistics used, as well as the confirmation of the feasibility in obtaining the diametric adjustment with a single equation through the inclusion of the variable Tx.

Keywords: taper; binary variable; diameter; *Corymbia citriodora*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	7
	MODELOS DE TAPER AVALIADOS PARA CORYMBIA CITRIODORA NO SUL DO ESTADO DO TOCANTINS	9
2	INTRODUÇÃO.....	10
3	MATERIAL E MÉTODOS	11
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
5	CONCLUSÃO	24
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	25
	EQUAÇÕES DE PERFIL DE TRONCO PARA CORYMBIA CITRIODORA COM E SEM CASCA NO SUL DO ESTADO DO TOCANTINS.....	30
7	INTRODUÇÃO.....	31
8	MATERIAL E MÉTODOS	33
9	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
9.1	ESTATÍSTICA DESCRITIVA.....	35
9.2	TAPER SEM CASCA	35
9.3	TAPER COM E SEM CASCA UTILIZANDO VARIÁVEL BINÁRIA TX.....	38
10	CONCLUSÃO	41
11	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42
12	CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
13	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DE 35 ÁRVORES-AMOSTRA DE CORYMBIA CITRIODORA COM CASCA CUBADAS AOS 55 MESES DE IDADE NO SUL DO TOCANTINS.....	17
TABELA 2. COEFICIENTES ESTIMADOS E ESTATÍSTICAS DE PRECISÃO OBTIDAS NO AJUSTE DOS 10 MELHORES E 10 PIORES MODELOS DE TAPER PARA CORYMBIA CITRIODORA COM CASCA AOS 55 MESES DE IDADE NO SUL DO TOCANTINS.....	18
TABELA 3. RESULTADO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM PARCELAS SUBDIVIDIDAS PARA CORYMBIA CITRIODORA COM CASCA AOS 55 MESES DE IDADE NO SUL DO TOCANTINS.	20
TABELA 4. COEFICIENTE ESTIMADOS E ESTATÍSTICAS DE PRECISÃO OBTIDAS NO AJUSTE DOS 10 MELHORES MODELOS DE TAPER EM DIFERENTES BANCOS DE DADOS PARA CORYMBIA CITRIODORA COM CASCA AOS 55 MESES DE IDADE NO SUL DO TOCANTINS...	21
TABELA 5. ESTATÍSTICAS ADOTADAS PARA CLASSIFICAÇÃO DOS 10 MODELOS DE TAPER QUE SE DESTACARAM PARA CORYMBIA CITRIODORA NO SUL DO TOCANTINS.	22
TABELA 6. ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DE 35 ÁRVORES-AMOSTRA DE CORYMBIA CITRIODORA SEM CASCA CUBADAS COM 55 MESES DE IDADE NO SUL DO TOCANTINS.....	35
TABELA 7. COEFICIENTE ESTIMADOS E ESTATÍSTICAS DE AJUSTE E PRECISÃO OBTIDAS NO AJUSTE DE MODELOS DE TAPER PARA AS 35 ÁRVORES-AMOSTRA DE CORYMBIA CITRIODORA SEM CASCA COM 55 MESES DE IDADE NO SUL DO TOCANTINS.....	36
TABELA 8. COEFICIENTE ESTIMADOS E ESTATÍSTICAS DE PRECISÃO OBTIDAS NO AJUSTE DOS MODELOS DE TAPER EM DIFERENTES BANCOS DE DADOS PARA CORYMBIA CITRIODORA SEM CASCA AOS 55 MESES DE IDADE NO SUL DO TOCANTINS.	37
TABELA 9. ESTATÍSTICAS ADOTADAS PARA CLASSIFICAÇÃO DOS MODELOS DE TAPER, AJUSTADOS COM DADOS DE CORYMBIA CITRIODORA SEM CASCA COM 55 MESES DE IDADE LOCALIZADOS NO SUL DO TOCANTINS.	37
TABELA 10. ESTATÍSTICAS ADOTADAS PARA CLASSIFICAÇÃO DOS MODELOS DE TAPER UTILIZANDO A VARIÁVEL TX COMPARADA À QUE FOI GERADA PELO MODELO 3 AJUSTADOS COM DADOS DE CORYMBIA CITRIODORA COM 55 MESES DE IDADE LOCALIZADOS NO SUL DO TOCANTINS.	39

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO NA REGIÃO DO MUNICÍPIO DE GURUPI, SUL DO ESTADO DO TOCANTINS, BRASIL	11
FIGURA 2. DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS PARA OS MODELOS DE DESEMPENHO INSATISFATÓRIO AJUSTADOS COM DADOS DE CORYMBIA CITRIODORA; EM QUE: 2 (DEMAERSCHALK 1973), 3 (KOZAK ET AL. 1969 II), 6 (ORMEROD 1973 II), 8 (HRADEZKY 1976), 26 (NEWBERRY AND BURKHART 1986), 27 (REED AND GREEN 1984), 31 (DEMAERSCHALK 1972), 32 (KOZAK ET AL. 1969 I), 33 (ORMEROD 1973 I) E 34 (SCHÖEPFER 1966 I).	19
FIGURA 3. DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS PARA OS 10 MELHORES MODELOS DE TAPER AJUSTADOS COM DADOS DE CORYMBIA CITRIODORA; EM QUE: 4 (KOZAK 1988), 5 (KOZAK 2004), 7 (SCHÖEPFER 1966 II), 13 (GUIMARÃES & LEITE 1992), 15 (MUHAIRWE 1999 I), 17 (CHAPMAN-RICHARDS ADAPTADO ANDRADE, 2014), 22 (MUHAIRWE 1993), 23 (CERVERA 1973), 29 (LEE ET AL. 2003) E 30 (SHARMA AND PARTON 2009).....	19
FIGURA 4. DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS DOS 10 MELHORES MODELOS AJUSTADOS COM O BANCO DE DADOS 1 E APLICAÇÃO NO BANCO DE DADOS 2 DE CORYMBIA CITRIODORA.	23
FIGURA 5. DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS DOS 10 MELHORES MODELOS AJUSTADOS COM O BANCO DE DADOS 2 E APLICAÇÃO NO BANCO DE DADOS 1 DE CORYMBIA CITRIODORA.	23
FIGURA 6. DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS DOS MODELOS AJUSTADOS COM DADOS DE 35 ÁRVORES-AMOSTRA DE CORYMBIA CITRIODORA SEM CASCA COM 55 MESES DE IDADE NO SUL DO TOCANTINS.	36
FIGURA 7. DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS PARA OS MODELOS AJUSTADOS MEDIANTE VALIDAÇÃO CRUZADA PARA O AJUSTE DO BANCO DE DADOS 1 COM APLICAÇÃO NO BANCO DE DADOS 2.	38
FIGURA 8. DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS PARA OS MODELOS AJUSTADOS MEDIANTE VALIDAÇÃO CRUZADA PARA O AJUSTE DO BANCO DE DADOS 2 COM APLICAÇÃO NO BANCO DE DADOS 1.	38
FIGURA 9. DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS PARA EQUAÇÕES DE TAPER GERADAS PELO MODELO 3 COM CASCA, SEM CASCA E COM A INCLUSÃO DA VARIÁVEL Tx PARA CORYMBIA CITRIODORA COM CASCA AOS 55 MESES DE IDADE NO SUL DO TOCANTINS.....	40

1 INTRODUÇÃO GERAL

No ano de 2016, a área total de florestas plantadas no Brasil totalizou 7,84 milhões de hectares, dos quais 5,7 milhões pertencem ao gênero *Eucalyptus*, distribuídos principalmente nos estados de Minas Gerais (24%), São Paulo (17%) e Mato Grosso do Sul (15%). O Tocantins destaca-se como um dos estados de maior crescimento, passando de 47 mil hectares em 2010, para pouco mais de 116 mil no ano de 2016 (IBÁ, 2017). Este aumento é resultado do rápido crescimento, ciclo de curta rotação, alta produtividade decorrente de avanços tecnológicos e novos investimentos das empresas que utilizam a sua madeira como matéria-prima nos processos industriais.

Com a crescente demanda por produtos de origem florestal, se torna cada vez mais importante o amplo conhecimento do estoque de madeira. Sendo assim, é possível diminuir perdas econômicas oriundas de destinação errada da madeira, otimizando a utilização desta matéria prima a partir da aplicação de uma finalidade adequada. Neste sentido, utilizar-se de funções de afilamento resulta na obtenção de informações para quantificar a quantidade de toras vinculadas às dimensões mínimas de cada produto, tornando possível um melhor planejamento de produção, logística e comercialização da madeira, uma vez que estas representam uma maneira matemática de descrever o perfil de um tronco.

Conforme Leite et al. (2011), os modelos de afilamento para taper se mostram alternativas viáveis para suprir a demanda de informação sobre multiprodutos madeireiros, além de constituírem uma excelente opção para o aperfeiçoamento das técnicas de inventários florestais (CHICHORRO et al. 2003; SOUZA et al. 2008; SOUZA et al. 2012)

Segundo Silva e Paula Neto (1979) e Ferreira e Silva (2002), em florestas é possível observar a presença de variações nas formas de fustes das árvores, o que está correlacionado com o decréscimo dos diâmetros da base em direção ao topo, conhecido como afilamento, o que corresponde a causa primordial da variação do volume destes indivíduos. Portanto, nos dias atuais, com o crescente avanço da informática e criação de novos *softwares*, a estimação pode ser realizada de forma cada vez mais precisa e com maior velocidade na obtenção de parâmetros e gráficos que relatam o perfil com maior fidelidade (HORLE et al. 2010).

Para obtenção das equações de modelos de *taper*, é necessária a execução de uma cubagem rigorosa, processo que consiste, conforme a FAO (1973), no método direto de obtenção do volume de árvores através da medição sucessiva de diâmetros ao longo do tronco já subdivido em seções, com posterior aplicação de fórmulas matemáticas, as quais se destacam Huber, Smalian e Newton. Neste tocante, aliando-se dados de cubagem rigorosa a regressão linear, equações de taper geradas se mostram ótimas ferramentas para os fins relatados, principalmente em razão da sua flexibilidade ao estimar diâmetro a qualquer altura do tronco, altura relativa a um diâmetro mínimo preestabelecido, além de determinar volume comercial e total do fuste (HUSCH et al. 1993).

Segundo Guimarães e Leite (1992), esta é uma técnica já bastante difundida nos países com maior tradição florestal, onde constitui fator importante nas decisões de manejo e planejamentos florestais e, portanto, na maximização do aproveitamento da madeira produzida, onde atualmente tem-se como tendência a utilização de um mesmo fuste para diversos fins, como laminação, serraria, papel e celulose, energia, entre outros (SOARES et al. 2003).

Diante disso, objetivou-se com o presente trabalho ajustar, avaliar e selecionar modelos de taper para estimativa diamétrica ao longo do fuste, além de avaliar a possibilidade de obter simultaneamente diâmetro do tronco com e sem casca em floresta plantada no sul do estado do Tocantins.

CAPÍTULO 1

MODELOS DE TAPER AVALIADOS PARA *Corymbia citriodora* NO SUL DO ESTADO DO TOCANTINS

Resumo: Este trabalho objetivou avaliar trinta e quatro modelos de taper ajustados com dados de *Corymbia citriodora* com 55 meses de idade na região sul do Estado do Tocantins. Foram abatidas e cubadas 35 árvores-amostra com medições dos diâmetros ao longo do tronco nas posições: 0,2 m, 0,4 m, 0,7 m, 1,3m, 2,7 m e, a partir deste ponto em diante a cada 2 metros até um diâmetro em torno de 1,0 cm com casca. A seguir, procedeu-se ao ajuste e avaliação dos modelos mediante as seguintes estatísticas: coeficiente de determinação ajustado, erro padrão da estimativa, distribuição gráfica dos resíduos, média dos desvios absolutos, desvio padrão das diferenças, soma dos quadrados dos resíduos relativos, média dos desvios percentuais, raiz quadrada do erro médio, viés e coeficiente de correlação múltipla, sendo selecionados os dez melhores e submetidos ao procedimento de validação cruzada. Concluiu-se que o modelo 15 (Muhairwe 1999 I) sobressaiu-se como o de melhor desempenho entre todos os modelos de taper avaliados. Os modelos mais usados no Brasil, Demaerschalk (1972), Ormerod (1973) I e Schöpfer (1966), Kozak et al. (1969) e Hradetzky (1976) apresentara desempenho insatisfatório para os critérios adotados, destacando-se positivamente modelos ainda não testados no país.

Palavras-chave: afilamento; perfil de tronco; diâmetro; validação cruzada

Abstract: This study aimed to evaluate thirty - four taper models fitted with data from *Corymbia citriodora* at 55 months of age in the southern region of Tocantins State. 35 sample trees were harvested and sampled with measurements of the diameters along the trunk at the positions: 0.2 m, 0.4 m, 0.7 m, 1.3 m, 2.7 m, from this point onwards every 2 meters to a diameter of about 1.0 cm with bark. Afterwards, the models were adjusted and evaluated using the following statistics: adjusted coefficient of determination, standard error of the estimate, graphical distribution of the residuals, mean absolute deviations, standard deviation of the differences, sum of the squares of relative residues, average of the mean deviations, square root of the mean error, bias and multiple correlation coefficient, the best ten being selected and submitted to the cross validation procedure. It was concluded that the model 15 (Muhairwe 1999 I) stood out as the best performance among all the taper models evaluated. The most commonly used models in Brazil, Demaerschalk (1972), Ormerod (1973) I and Schöpfer (1966), Kozak et al. (1969) and Hradetzky (1976) presented an unsatisfactory performance for the adopted criteria, highlighting positively models not yet tested in the country.

Keywords: taper, sharpening; trunk profile; diameter; cross-validation

2 INTRODUÇÃO

Os primeiros trabalhos com o intuito de descrever o perfil do tronco através de funções de afilamento em espécies florestais, foram realizados por Hojer (1903). No Brasil, o desenvolvimento desta técnica chegou por volta dos anos 70, objetivando selecionar modelos eficientes para cada situação de uso, pois não existe apenas um que seja eficiente para todos os casos, ou seja, qualquer amostra de dados (ANDRADE, 2014; FISCHER et al. 2001).

Segundo Ahrens e Holbert (1981), essas funções, também denominadas modelos de taper, são capazes de descrever matematicamente o perfil longitudinal de um tronco. Para Borges (1981), o afilamento do tronco representa o decréscimo do diâmetro do fuste da base para o topo ou a adelgação do fuste, e pode ser expresso por uma função matemática que descreve a tendência dessa variação. Prodan et al. (1997), ainda acrescenta que estes modelos tem a capacidade de estimar três características básicas distintas das árvores, sendo elas: diâmetro em qualquer posição do fuste, altura em que se encontra um determinado diâmetro comercial e o volume entre dois pontos quaisquer, sendo assim possível estimar os volumes requeridos para as áreas de laminação, serraria, celulose, energia, mourões, dentre outros produtos madeireiros.

Segundo Scolforo (1993), em situações que a madeira se torna o componente de maior importância em um empreendimento florestal, se deve optar pela aplicação dos modelos de taper, pois estes têm a capacidade de definir diferentes potencialidades que a árvore oferece. Além disso, para Fischer et al. (2001), essas funções são um poderoso instrumento na avaliação nos aspectos biológicos, silvicultural e econômico, bem como a resposta do plantio às práticas de manejo realizadas, uma vez que define de maneira confiável a valoração do povoamento florestal.

Dado o exposto, e considerando a importância de descrever o perfil de troncos em povoamentos florestais, além do fato de no Estado do Tocantins existirem cerca de 116 mil ha de plantios florestais e de não se encontrar estudos feitos no Brasil sobre taper para *Corymbia citriodora*, este trabalho teve como objetivo avaliar vários modelos de taper para a referida espécie florestal no sul do Estado do Tocantins.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi desenvolvido com dados coletados em um plantio de *Corymbia citriodora* com idade de 55 meses e localizado na região sul do Estado do Tocantins, próximo ao município de Gurupi (Figura 1). O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, tropical com estação seca, temperatura média em torno de 28 a 30 °C e média pluviométrica em torno de 1000 a 1200 mm/ano entre outubro e maio (INMET, 2016).

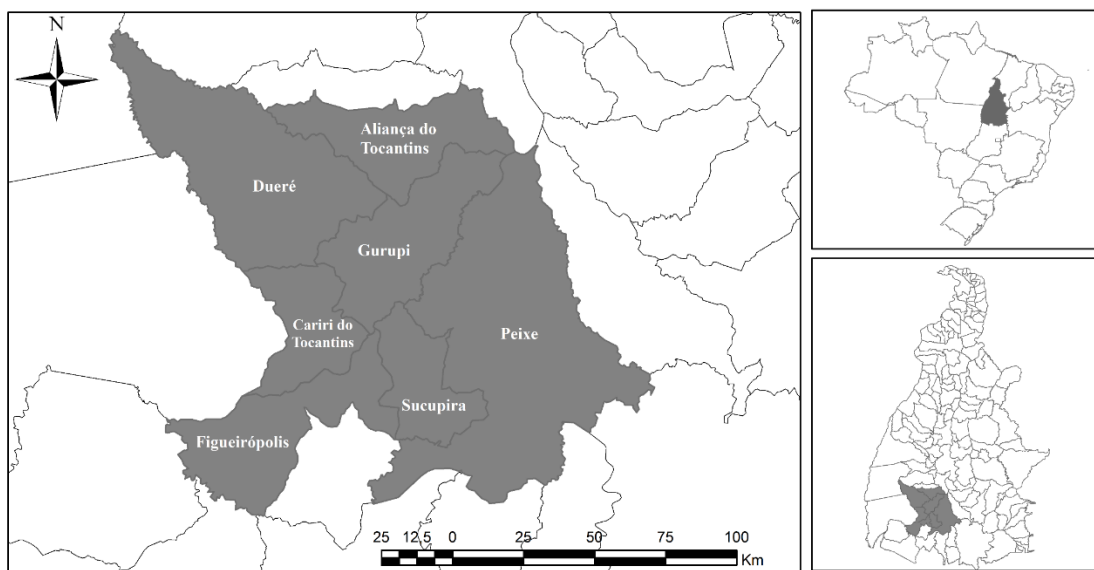


Figura 1. Localização da área de estudo na região do município de Gurupi, sul do Estado do Tocantins, Brasil.

Foram abatidas e cubadas 35 árvores-amostra com medições dos diâmetros do tronco situados em 0,2 m, 0,4 m, 0,7 m, 1,3m, 2,7 m e, a partir deste ponto em diante, a cada 2 metros até um diâmetro em torno de 1,0 cm com casca. Após a coleta de dados, procedeu-se ao ajuste dos seguintes modelos de taper:

Baldwin e Feduccia (1991):

$$\left(\frac{di}{d}\right) = \beta_1 + \beta_2 \ln \left\{ 1 - (z) \left(\frac{1}{m}\right) \left[1 - \exp \left(-\frac{\beta_1}{\beta_2} \right) \right] + \varepsilon \right\} \dots \dots \dots (1),$$

Demaerschalk (1973):

$$\left(\frac{di}{d}\right) = (10)^{\beta_0} (d)^{(\beta_1-1)} (L)^{\beta_2} (h)^{\beta_3} + \varepsilon \dots \dots \dots (2),$$

Kozak et al. (1969) II:

$$\left(\frac{di}{d}\right)^2 = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{h-1,3}\right) + \beta_2 \left(\frac{h_i^2}{(h-1,3)^2}\right) + \varepsilon \dots \dots \dots (3),$$

Kozak (1988):

$$(di) = \beta_0 d^{\beta_1} \beta_2 d^{\left[\frac{(1-\sqrt{z})}{(1-\sqrt{p})}\right] \left[\beta_3(z)^2 + \beta_4 \ln(z+0,001) + \beta_5 \sqrt{z} + \beta_6 \exp(z) + \beta_7 \left(\frac{d}{h}\right)\right]} \dots \dots \dots (4),$$

Kozak (2004):

$$(d_i) = \beta_0 d^{\beta_1} h^{\beta_2} \left[\frac{1-(z)^{\left(\frac{1}{3}\right)}}{1-p\left(\frac{1}{3}\right)}\right] \left\{ \beta_3(z)^4 + \beta_4 \left[\frac{1}{\exp\left(\frac{d}{h}\right)}\right] + \beta_5 \left[\frac{1-(z)^{\left(\frac{1}{3}\right)}}{1-p\left(\frac{1}{3}\right)}\right]^{0,1} + \beta_6 \left(\frac{1}{d}\right) + \beta_7 h^{\left[1-(z)^{\left(\frac{1}{3}\right)}\right]} + \beta_8 \left[\frac{1-(z)^{\left(\frac{1}{3}\right)}}{1-p\left(\frac{1}{3}\right)}\right] \right\} + \dots \dots \dots (5),$$

Ormerod (1973) II:

$$\left(\frac{di}{d}\right) = \beta_0(X)^{\beta_1} + \varepsilon \dots \dots \dots (6),$$

Schöepfer (1966) II:

$$(d_i) = \beta_0 + \beta_1(d) + \beta_2(z)d + \beta_3(z)^2d + \beta_4(z)^3d + \beta_5(z)^4d + \beta_6(z)^5d + \varepsilon \dots \dots \dots (7),$$

Hradetzky (1976):

$$\left(\frac{d_i}{d}\right) = \beta_0 + \beta_1(z)^{p_1} + \beta_2(z)^{p_2} + \dots + \beta_n(z)^{p_n} + \varepsilon \dots \dots \dots (8),$$

Garay (1979):

$$\left(\frac{di}{d}\right)^2 = \beta_1 [1 + \beta_2 \ln(1 - \beta_3(z)^{\beta_4})] + \varepsilon \dots \dots \dots (9),$$

Biging (1984):

$$\left(\frac{di}{d}\right) = \beta_1 + \beta_2 \ln \left[1 - (z)^{\frac{1}{3}} \right] \left(1 - e^{\frac{-\beta_1}{\beta_2}} \right) + \varepsilon \dots \dots \dots (10),$$

Garcia et al. (1993):

$$\left(\frac{di}{d}\right) = \sqrt{\beta_1 - \beta_2(z)^{0,5} + \beta_3(z)} + \varepsilon \dots \dots \dots (11),$$

Polinômio do 3º Grau:

$$\left(\frac{d_i}{d}\right) = [\beta_0 + \beta_1(z) + \beta_2(z)^2 + \beta_3(z)^3] + \varepsilon \dots \dots \dots (12),$$

Guimarães & Leite (1992):

$$\left(\frac{di}{d}\right) = \{\exp[1 - \exp(1,3 - h_i)]\}^{\beta_1} (x)^{\beta_2} + \varepsilon \dots \dots \dots (13),$$

Newhan (1988):

$$\left(\frac{di}{d}\right) = \left(\frac{L}{h-1,3}\right) \left\{ 1 / \left[\beta_0 + \beta_1 \left(\frac{L}{h-1,3}\right)^6 + \beta_2 \left(\frac{d}{h}\right) + \beta_3 \left(\frac{L}{h-1,3}\right)^2 \left(\frac{d}{h}\right) \right] \right\} + \varepsilon \dots \dots \dots (14),$$

Muhairwe (1999) I:

$$di = \beta_1 d^{\beta_2} \beta_3^d (1 - \sqrt{z}) \left[\beta_4 z^2 + \left(\frac{\beta_5}{z}\right) + \beta_6 d + \beta_7 h + \beta_8 \left(\frac{d}{h}\right) \right] + \varepsilon \dots \dots \dots (15),$$

Muhairwe (1999) II:

$$di = \beta_1 d^{\beta_2} (1 - \sqrt{z}) \left[\beta_3 z + \beta_4 z^2 + \left(\frac{\beta_5}{z}\right) + \beta_6 z^3 + \beta_7 d + \beta_8 \left(\frac{d}{h}\right) \right] + \varepsilon \dots \dots \dots (16),$$

Chapman-Richards adaptado (Andrade, 2014):

$$\left(\frac{di}{d}\right) = \left\{ 1 - \left(\frac{h_i-1,3}{h-1,3}\right) \exp[-\beta_1(1 - z)^{\beta_2}] \right\}^{\beta_3} + \varepsilon \dots \dots \dots (17),$$

Hojer (1903):

$$\left(\frac{di}{d}\right) = \beta_0 \text{Ln} \left[\frac{\beta_1 + (x-2,5)}{\beta_2} \right] + \varepsilon \dots \dots \dots (18),$$

Johnson (1911):

$$\left(\frac{di}{d}\right) = \beta_0 \text{Ln} \left[\frac{\beta_1 + (x-2,5)}{\beta_2} \right] + \varepsilon \dots \dots \dots (19),$$

Bruce et al. (1968):

$$\left(\frac{di}{d}\right)^2 = \beta_1 (x)^{1,5} + \beta_2 (x^{1,5} - x^3) d + \beta_3 (x^{1,5} - x^3) h + \beta_4 (x^{1,5} - x^3) h d + \beta_5 (x^{1,5} - x^3) h^{0,5} + \beta_6 (x^{1,5} - x^3) h^2 + \varepsilon \dots \dots \dots (20),$$

Sharma & Zhang (2004):

$$d_i^2 h = \beta_1 (d^2) \left(\frac{h}{1,3}\right)^{2 - [\beta_2 + \beta_3(z) + \beta_4(z)^2]} (x) + \varepsilon \dots \dots \dots (21),$$

Muhairwe (1993):

$$(d_i) = \beta_0 d^{\beta_1} \beta_2^d \left[(1 - \sqrt{z}) \right]^{\left[\beta_3 (z)^2 + \beta_4 \text{Ln}(z+0,001) + \beta_5 \sqrt{z} + \beta_6 \exp(z) + \beta_7 \left(\frac{d}{h}\right) \right]} + \varepsilon \dots \dots \dots (22),$$

Cervera (1973):

$$\left(\frac{d_i}{d}\right) = \beta_1 + \beta_2(x) + \beta_3(x)^2 + \beta_4(x)^3 + \beta_5(x)^4 + \varepsilon \dots (23),$$

Real and Moore (1986):

$$\left(\frac{d_i}{d}\right)^2 = (x)^2 + \beta_1(x^3 - x^2) + \beta_2(x^8 - x^2) + \beta_3(x^{40} - x^2) + \varepsilon \dots (24),$$

Jiménez et al. (1994):

$$\left(\frac{d_i}{d}\right)^2 = \beta_1 + \beta_2(z) + \beta_3(z)^2 + \beta_4(z)^3 + \beta_5(z)^4 + \beta_6(z)^5 + \varepsilon \dots (25),$$

Newberry and Burkhart (1986):

$$d_i = \beta_1(d)(x)^{\beta_2} + \varepsilon \dots (26),$$

Reed and Green (1984):

$$\left(\frac{d_i}{d}\right)^2 = \beta_1(1 - z)^{\beta_2} + \varepsilon \dots (27),$$

Bi (2000):

$$\left(\frac{d_i}{d}\right) = \left[\frac{\text{Logsin}\left(\frac{\pi}{2}z\right)}{\text{Logsin}\left(\frac{\pi}{2}\right)\left(\frac{1,3}{h}\right)} \right]^{\beta_1 + \beta_2 \sin\left(\frac{\pi}{2}z\right) + \beta_3 \cos\left(\frac{3\pi}{2}z\right) + \frac{\beta_4 \sin\left(\frac{\pi}{2}z\right)}{z} + \beta_5 d + \beta_6 z \sqrt{d} + \beta_7 z \sqrt{h}} + \varepsilon \dots (28),$$

Lee et al. (2003):

$$d_i = \beta_1 d^{\beta_2} (1 - z)^{\beta_3 z^2 + \beta_4 z + \beta_5} + \varepsilon \dots (29),$$

Sharma and Parton (2009):

$$\left(\frac{d_i}{d}\right) = \beta_0 \left(\frac{h-h_i}{h-1,37}\right) \left(\frac{h}{1,37}\right)^{\beta_1 + \beta_2 z + \beta_3 z^2} + \varepsilon \dots (30),$$

Demaerschalk (1972):

$$\left(\frac{d_i}{d}\right)^2 = (10)^{2\beta_0} (d)^{(2\beta_1 - 2)} (L)^{2\beta_2} (h)^{2\beta_3} + \varepsilon \dots (31),$$

Kozak et al. (1969) I:

$$\left(\frac{d_i}{d}\right)^2 = \beta_0 + \beta_1(z) + \beta_2(z)^2 + \varepsilon \dots (32),$$

Ormerod (1973) I:

$$\left(\frac{d_i}{d}\right)^2 = (X)^{2\beta_1} + \varepsilon \dots (33),$$

Schöepfer (1966) I:

$$\left(\frac{d_i}{d}\right) = [\beta_0 + \beta_1(z) + \beta_2(z)^2 + \beta_3(z)^3 + \beta_4(z)^4 + \beta_5(z)^5] + \varepsilon \dots \dots \dots (34).$$

Em que d_i =diâmetro estimado (cm), d =DAP(cm), h =altura (m), Ln =Logaritmo neperiano, $x = \left(\frac{h-h_i}{h-1,3}\right)$, $L = (h - h_i)$, $z = \left(\frac{h_i}{h}\right)$, β_0 à β_5 =coeficientes de regressão à serem estimados e ε =erro aleatório do modelo.

Ressalta-se que modelos de taper foram obtidos nos trabalhos de Finger et al. (1995), Schneider et al. (1996), Drescher (1999), Fischer et al. (2001), Assis et al. (2002), Soares et al. (2003), Queiroz et al. (2006), Leite et al. (2006), Mendonça et al. (2007), Souza et al. (2008a), Souza et al. (2008b), Queiroz et al. (2008), Miguel et al. (2011), Silva et al. (2011), Soares et al. (2011), Araújo et al. (2012), Yoshitani Junior et al. (2012), Kohler et al. (2013), Lanssanova et al. (2013), Andrade (2014), Campos et al. (2014), David et al. (2014), Mendonça et al. (2014), Môra et al. (2014), Ribeiro e Andrade (2015) e Schikowski et al. (2015). Salieta-se ainda, que os modelos 21 a 30, além do modelo 5, não foram testados em estudos no Brasil, sendo obtidos a partir de Cellini et al. (2002), Rojo et al. (2005), Li e Weiskittel (2010) e Duan et al. (2016).

Visando reduzir o número de modelos de taper, aos de maior potencial para aplicação à espécie e local em estudo, inicialmente, os modelos foram avaliados por meio da análise da distribuição dos resíduos. Em seguida, os modelos que se destacaram foram avaliados quanto ao erro padrão residual (EPR) e o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}). Tais critérios estatísticos podem ser vistos em Campos et al. (1985), Couto e Bastos (1987), Guimarães e Leite (1996), Couto e Vettorazzo (1999), Andrade e Schmitt (2016).

Ainda, objetivando verificar a presença ou não de diferença estatística, foi utilizado um delineamento em blocos casualizados em parcelas subdivididas. Desta forma, para blocos foram utilizadas as classes de diâmetro e, para as parcelas, as porções do tronco: base (até 0,70 m), central (até 45% da altura total) e superior (acima de 45% da altura total). As subparcelas correspondem ao modelo de taper e o valor real. No caso de haver diferença significativa, procedeu-se ao teste de comparação de médias de Dunnett, ao nível de 5% de significância (Banzatto e Kronka, 1995).

Com o intuito de avaliar a capacidade de generalização dos modelos utilizados neste estudo, utilizou-se a técnica da validação cruzada (CARVALHO et al. 2015; MARTINS et al. 2017), consistindo em fazer o particionamento do conjunto total de dados em subconjuntos para utilizar um na estimação dos parâmetros do modelo e outro no emprego do modelo, e vice-versa. Sendo assim, para este caso, dividiu-se os dados obtidos em dois subconjuntos selecionados através da alternância das posições onde foram coletados os diâmetros ao longo do tronco.

Em continuidade, após selecionados os dez melhores modelos, procedeu-se à análise apenas dos modelos de melhor desempenho, ocasião em que se adotou os critérios estatísticos conforme utilizados por Queiroz et al. (2006), Mendonça et al. (2007), Souza et al. (2008a), Souza et al. (2008b), Andrade (2014), Campos et al. (2014), Môra et al. (2014), Schikowski et al. (2015) e Ribeiro e Andrade (2016), quais sejam: média dos desvios absolutos (MDA), desvio padrão das diferenças (SD), Soma dos quadrados dos resíduos relativos (SQRR), média dos desvios percentuais (MDP), raiz quadrada do erro médio (REQM), viés (V) e coeficiente de correlação múltipla (R_{yx}).

Os resultados obtidos para tais estatísticas foram englobados em um único valor atribuindo-se notas que variaram de 1 a "n" (em que: n=número total de modelos classificados), sendo atribuído nota 1 a equação que apresentou melhor resultado, nota 2 a equação em segundo lugar e, sucessivamente, até a pior colocação (QUEIROZ et al. 2008; PELISSARI et al. 2011). Portanto, a classificação geral foi definida pelo menor somatório de notas (TGT) que, aliado à análise de distribuição de resíduos, indicou o modelo mais apropriado para plantios de *Corymbia citriodora* no Sul do Tocantins.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 nota-se uma variação de 4,8 a 19 m para altura e de 3,4 a 16,9 cm para DAP, com média de 14,3 m e de 10,8 cm, respectivamente. Observa, também, que 50% das árvores tem Dicc entre 7,2 e 14,5 cm e altura entre 11,8 e 17,6 m. Já, para o diâmetro medido ao longo do tronco, observa-se uma variação de 1,2 a 19,3 cm e média de 8,9 cm com casca. Quanto ao intervalo interquartil, nota-se que 50% dos diâmetros medidos ao longo do tronco de todos os indivíduos encontram-se entre 5,2 a 11,9 cm com casca.

Tabela 1. Estatísticas descritivas de 35 árvores-amostra de *Corymbia citriodora* com casca cubadas aos 55 meses de idade no sul do Tocantins.

	Dicc (cm)	DAP (cm)	H (m)
Máximo	19,3	16,9	19,0
Mínimo	1,2	3,4	4,8
Média	8,9	10,8	14,3
Amplitude	18,1	13,5	14,2
P25	5,2	7,2	11,8
P75	11,9	14,5	17,6
CV	46,5	35,6	26,0

Em que: Dicc=diâmetro medido ao longo do tronco com casca, DAP=diâmetro a altura do peito, H=altura, P25=percentil 25, P75=percentil 75.

Após ajuste de todos os modelos, alguns foram descartados pela análise gráfica dos resíduos por apresentarem distribuição insatisfatória, conforme exemplificados pelos modelos 2, 3, 6, 8, 26, 27, 31, 32, 33 e 34 na Figura 2, em que se nota uma distribuição de resíduos heterogênea e dispersa em relação ao eixo central, com tendência de subestimação e/ou superestimação.

Na Tabela 2 são apresentadas as estimativas dos coeficientes para 20 modelos de afilamento, sendo 10 melhores e 10 piores. Ressalta-se que os modelos de maior usabilidade nacional, sendo estes Demaerschalk (1972), Kozak et al. (1969), Ormerod (1973), Hradeztky (1976) e Schöefer (1966), apresentaram péssimo desempenho na distribuição de resíduos (Figura 2) e por isso foram excluídos da apresentação na Tabela 2. Já os dez melhores modelos de taper tem suas distribuições de resíduos apresentadas na Figura 3, dentre os quais os modelos 5, 22, 29, 23 e 30 destacam-se como ainda não foram testados em povoamentos florestais brasileiros.

Tabela 2. Coeficientes estimados e estatísticas de precisão obtidas no ajuste dos 10 melhores e 10 piores modelos de taper para *Corymbia citriodora* com casca aos 55 meses de idade no sul do Tocantins.

Modelo	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	Syx%	R ² aj
10 MELHORES MODELOS											
5	0,0307	2,0382	-0,09	3,69	-6,384	8,251	-11,74	0,6315	0,3295	4,20	0,992
17		-1,436	11,439	0,7166						4,36	0,991
4	0,3629	0,803	1,0047	-2,717	-0,041	-0,169	3,0884	0,3328		4,44	0,991
22	2,0217	0,7751	1,0122	-1,006	0,0357	-2,136	1,4273	0,0256		4,51	0,991
7	0,8539	1,1345	-3,327	13,177	-30,05	31,47	-12,67			4,69	0,990
15		1,4957	0,8221	1,0082	0,2753	-0,016	-0,027	0,0204	0,4917	4,75	0,990
13		-0,063	0,6445							4,87	0,989
29		1,5013	0,9045	2,4758	-3,342	1,9063				4,93	0,989
23		-0,185	3,276	-5,111	4,031	-0,981				5,13	0,988
30	1,0711	-0,004	-0,185	0,4968						5,48	0,986
10 PIORES MODELOS											
11		1,5949	1,6671	0,012						6,68	0,979
12	1,2077	-2,043	3,1256	-2,439						6,68	0,979
9		1,8679	1,1127	0,6038	0,2722					6,84	0,978
25		1,499	-6,063	19,28	-36,63	33,821	-12,13			6,85	0,978
10		1,26	-3,059							7,23	0,976
31	0,2758	1,0389	0,9122	-1,132						7,64	0,973
27		1,3626	1,7865							8,25	0,968
3	1,3789	-2,449	1,2083							9,23	0,961
33		0,9782								10,8	0,946
32	1,3796	-2,718	1,4773							25,09	0,709

Em que: β_0 à β_8 =coeficientes de regressão à serem estimados, R^2_{aj} =coeficiente de determinação ajustado, Syx%=erro padrão residual.

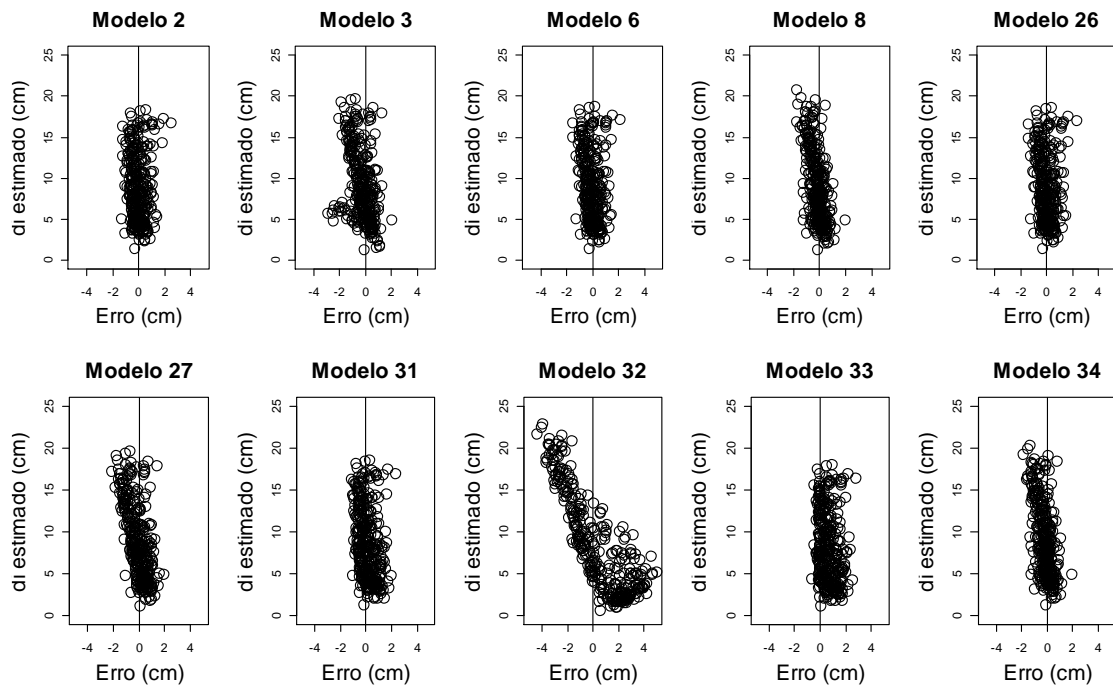


Figura 2. Distribuição de resíduos para os modelos de desempenho insatisfatório ajustados com dados de *Corymbia citriodora*; em que: 2 (Demaerschak 1973), 3 (Kozak et al. 1969 II), 6 (Ormerod 1973 II), 8 (Hradetzky 1976), 26 (Newberry and Burkhart 1986), 27 (Reed and Green 1984), 31 (Demaerschak 1972), 32 (Kozak et al. 1969 I), 33 (Ormerod 1973 I) e 34 (Schöpfer 1966 I).

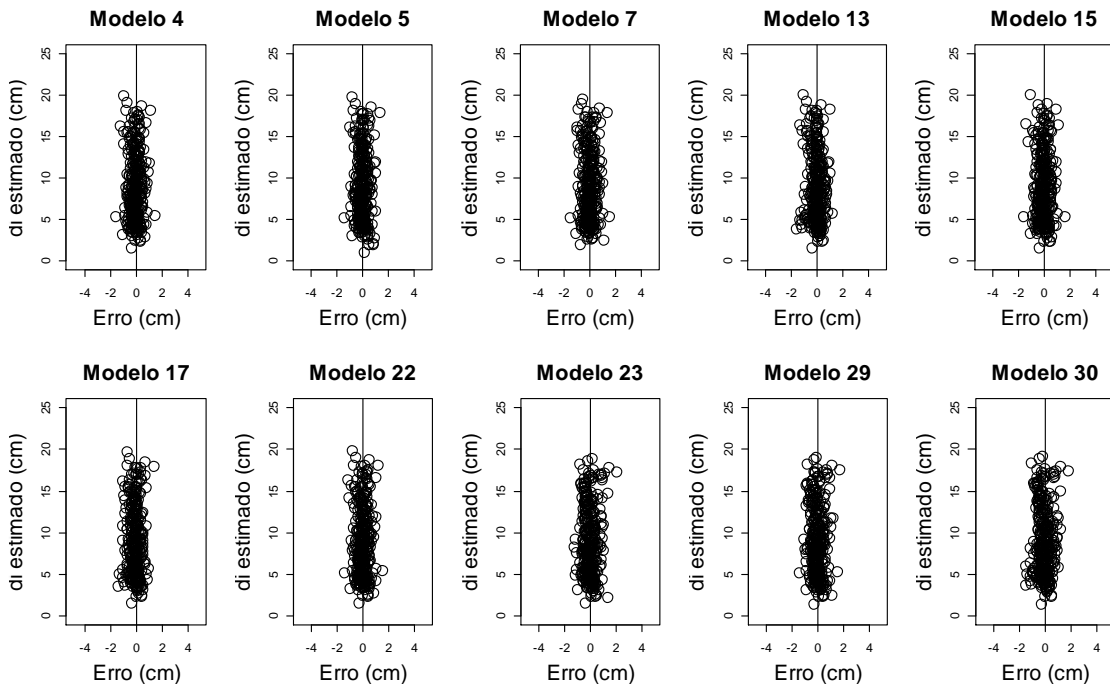


Figura 3. Distribuição de resíduos para os 10 melhores modelos de taper ajustados com dados de *Corymbia citriodora*; em que: 4 (Kozak 1988), 5 (Kozak 2004), 7 (Schöpfer 1966 II), 13 (Guimarães & Leite 1992), 15 (Muhairwe 1999 I), 17 (Chapman-Richards adaptado Andrade, 2014), 22 (Muhairwe 1993), 23 (Cervera 1973), 29 (Lee et al. 2003) e 30 (Sharma and Parton 2009).

Na Tabela 3 apresenta-se o resumo da análise de variância realizada para os 30 melhores modelos avaliados, onde se constata a significância entre os blocos (classes diamétricas) e porções do fuste (base, centro e superior). Já, o contrário, pode ser observado nos tratamentos (modelos), bem como na interação entre porções e modelos, onde os fatores agem de forma independente sobre a precisão das estimativas diamétricas. Portanto, os 30 modelos em média descrevem de forma semelhante o perfil do tronco de *Corymbia citriodora*.

Tabela 3. Resultado da análise de variância em parcelas subdivididas para *Corymbia citriodora* com casca aos 55 meses de idade no sul do Tocantins.

FV	GL	SQ	QM	F
Bloco	2	2001,025	1000,513	10,69 *
Porções (P)	2	1713,7	856,85	9,16 *
Resíduo A	4	374,2381	93,55953	
Parcela	8	4088,963		
Modelos (M)	30	3,440094	0,11467	0,10 ^{ns}
Interação (P x M)	60	68,89491	1,148249	0,99 ^{ns}
Resíduo B	180	208,1958	1,156643	
Total	278	4369,494		

FV= fonte de variação, GL= graus de liberdade; SQ= soma dos quadrados; QM= quadrado médio; F= estatística F, * e ns= significativo e não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Diante do resultado obtido na Tabela 3, a análise se concentrou somente nas informações da Tabela 2 e Figuras 3. De modo geral constata-se bons resultados no ajuste dos 10 melhores modelos de taper para *Corymbia citriodora* no Sul do Tocantins, demonstrando estatísticas variando de 4,20% a 5,48% para Syx e de 0,986 a 0,992 para R²aj, onde os modelos 17, 4, 22, 7, 15, 13, 29, 23, 30 e 5, aliados a distribuição de resíduos (Figura 3), sobressaem-se aos demais. Para os modelos ainda não avaliados no Brasil (5, 22, 29, 23 e 30), ressalta-se o bom desempenho apresentado, fato este corroborado pelos baixos valores de Syx (em torno de 5%), além do alto grau de explicação do taper, com valores de R²aj superiores a 0,985.

Os dez melhores modelos foram submetidos à validação cruzada em cujos resultados das estimativas das equações são apresentadas na Tabela 4 e, os resultados dos critérios estatísticos MDA, SD, SQRR, MDP, RQEM, Viés, DPD, R_{yx}, são apresentados na Tabela 5.

Tabela 4. Coeficiente estimados e estatísticas de precisão obtidas no ajuste dos 10 melhores modelos de taper em diferentes bancos de dados para *Corymbia citriodora* com casca aos 55 meses de idade no sul do Tocantins.

Modelo	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	Syx%	R ² aj
Ajuste com banco de dados 1											
17	3,9596	0,07142	44,786							8,97	0,965
4	1,20362	0,87360	1,00523	-2,41167	0,54586	-5,62074	3,20842	0,20003		7,48	0,975
22	1,1583	0,86648	1,0061	-5,605	1,6623	-10,64	6,2309	0,0761		6,14	0,983
7	0,6942	1,11418	-2,234	5,4007	-8,712	6,3651	-2,022			5,73	0,986
15	1,3033	0,90187	1,0013	0,2999	-0,02	-0,026	0,0179	0,4989		5,52	0,987
13	-0,051	0,65795								5,38	0,987
29	1,4393	0,91671	2,0276	-2,763	1,7181					5,81	0,985
23	-0,281	4,18997	-7,917	7,3995	-2,355					6,34	0,982
30	1,0124	0,01502	-0,138	0,4315						6,19	0,983
5	1,268	0,98784	-0,1	0,592	-0,738	0,7415	0,8082	-0,026	0,0849	5,22	0,988
Ajuste com banco de dados 2											
17	-1,41	9,5408	0,7117							4,63	0,990
4	1,5671	0,70151	1,0174	-0,028	-0,03	-0,674	0,4824	0,1706		4,81	0,989
22	2,3094	0,702	1,0178	-0,923	-0,008	-2,052	1,3715	0,021		4,87	0,989
7	1,0057	1,14488	-4,163	18,742	-44,31	47,254	-19,01			5,28	0,987
15	1,6888	0,74879	1,0138	0,2733	-0,016	-0,027	0,0209	0,4837		5,10	0,988
13	-0,068	0,63964								5,43	0,986
29	1,5512	0,89521	2,4269	-3,304	1,9126					4,77	0,989
23	-0,161	3,07298	-4,573	3,4997	-0,795					4,92	0,989
30	1,1347	-0,0228	-0,178	0,4761						5,41	0,986
5	1,5427	0,9802	-0,167	0,5539	-0,741	0,6781	1,2623	0,019	-0,086	4,50	0,991

Em que: β_0 à β_8 =coeficientes de regressão à serem estimados, R^2_{aj} =coeficiente de determinação ajustado, $Syx\%$ =erro padrão residual.

Tabela 5. Estatísticas adotadas para classificação dos 10 modelos de taper que se destacaram para *Corymbia citriodora* no Sul do Tocantins.

Modelo	MDA	SD	SQRR	MDP	RQEM	VIÉS	DPD	RYX	TG	TGT
validação no banco de dados 2										
17	0,576 ¹⁰	0,698 ¹⁰	1,839 ¹⁰	2,91 ¹⁰	4,733 ¹⁰	0,384 ¹⁰	0,487 ¹⁰	0,989 ⁴	74	108
4	0,369 ³	0,493 ³	0,944 ⁴	0,88 ⁶	1,385 ⁷	0,112 ⁷	0,243 ³	0,993 ²	35	63
22	0,392 ⁶	0,522 ⁶	0,857 ¹	1,08 ⁹	1,544 ⁸	0,125 ⁸	0,272 ⁶	0,993 ²	46	77
7	0,373 ⁴	0,493 ⁴	1,040 ⁵	0,57 ⁵	1,202 ⁴	0,097 ⁴	0,243 ⁴	0,993 ²	32	71
15	0,357 ¹	0,482 ²	0,908 ³	0,24 ¹	0,233 ¹	0,019 ¹	0,232 ²	0,994 ¹	12	58
13	0,362 ²	0,473 ¹	1,262 ⁸	0,25 ²	0,952 ³	0,077 ³	0,224 ¹	0,994 ²	22	65
29	0,380 ⁵	0,502 ⁵	0,873 ²	1,06 ⁷	1,329 ⁶	0,108 ⁶	0,252 ⁵	0,993 ²	38	63
23	0,415 ⁹	0,545 ⁹	1,076 ⁶	1,06 ⁸	1,588 ⁹	0,129 ⁹	0,297 ⁹	0,992 ³	62	103
30	0,413 ⁸	0,538 ⁷	1,199 ⁷	0,54 ⁴	1,265 ⁵	0,103 ⁵	0,290 ⁷	0,992 ³	46	109
5	0,404 ⁷	0,540 ⁸	1,316 ⁹	-0,34 ³	0,298 ²	-0,024 ²	0,292 ⁸	0,992 ³	42	95
validação no banco de dados 1										
17	0,295 ¹	0,382 ¹	0,694 ⁶	-1,36 ⁸	0,839 ⁸	-0,073 ⁸	0,146 ¹	0,995 ¹	34	
4	0,319 ³	0,402 ⁵	0,669 ⁴	-1,04 ⁴	0,272 ³	-0,024 ³	0,162 ⁵	0,995 ¹	28	
22	0,319 ⁴	0,400 ⁴	0,648 ³	-1,05 ⁵	0,322 ⁵	-0,028 ⁵	0,160 ⁴	0,995 ¹	31	
7	0,349 ⁸	0,437 ⁸	0,684 ⁵	-1,09 ⁶	0,196 ¹	-0,017 ¹	0,191 ⁸	0,994 ²	39	
15	0,328 ⁶	0,418 ⁶	0,769 ⁷	-1,34 ⁷	0,430 ⁶	-0,037 ⁶	0,175 ⁶	0,994 ²	46	
13	0,348 ⁷	0,458 ⁹	0,892 ⁹	-0,83 ²	0,254 ²	-0,022 ²	0,209 ⁹	0,993 ³	43	
29	0,303 ²	0,393 ²	0,583 ¹	-0,99 ³	0,726 ⁷	-0,063 ⁷	0,154 ²	0,995 ¹	25	
23	0,321 ⁵	0,394 ³	0,611 ²	-1,50 ⁹	1,309 ⁹	-0,114 ⁹	0,156 ³	0,995 ¹	41	
30	0,357 ⁹	0,435 ⁷	0,865 ⁸	-2,20 ¹⁰	1,438 ¹⁰	-0,125 ¹⁰	0,189 ⁷	0,994 ²	63	
5	0,392 ¹⁰	0,507 ¹⁰	0,913 ¹⁰	-0,20 ¹	0,319 ⁴	0,028 ⁴	0,257 ¹⁰	0,992 ⁴	53	

Onde: MDA=média das diferenças absolutas (m³), SD=desvio padrão das diferenças (m³), SQRR=somatório de quadrado dos resíduos relativos em (m³), MDP=média dos resíduos percentuais (%), RQEM=raiz quadrada do erro médio, DPD=desvio padrão das diferenças absolutas, RYX=coeficientes de correlação linear, TG = total geral das notas e TGT = total geral com casca e sem casca. Valores dos expoentes correspondem as notas de cada modelo.

Através da validação cruzada, observa-se melhor estabilidade dos modelos 15, 4, 29 e 13, conforme comprovado pelos somatórios gerais com valores respectivos de 58, 63, 63 e 65 (Tabela 5) aliado a análise de distribuição de resíduos (Figuras 4 e 5). Como a metodologia de englobamento de notas exige um menor valor, sendo este para o modelo 15 (Muhairwe 1999 I), optou-se por selecioná-lo como o mais adequado aos dados de *Corymbia citriodora* com 55 meses de idade no Sul do Estado do Tocantins.

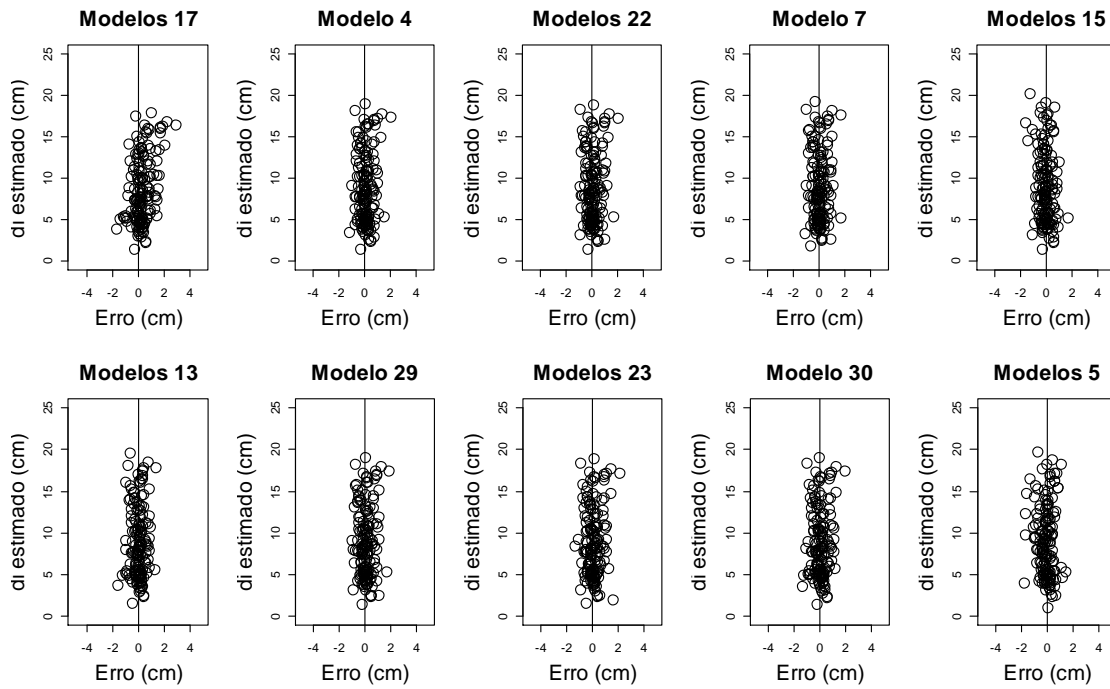


Figura 4. Distribuição de resíduos dos 10 melhores modelos ajustados com o banco de dados 1 e aplicação no banco de dados 2 de *Corymbia citriodora*.

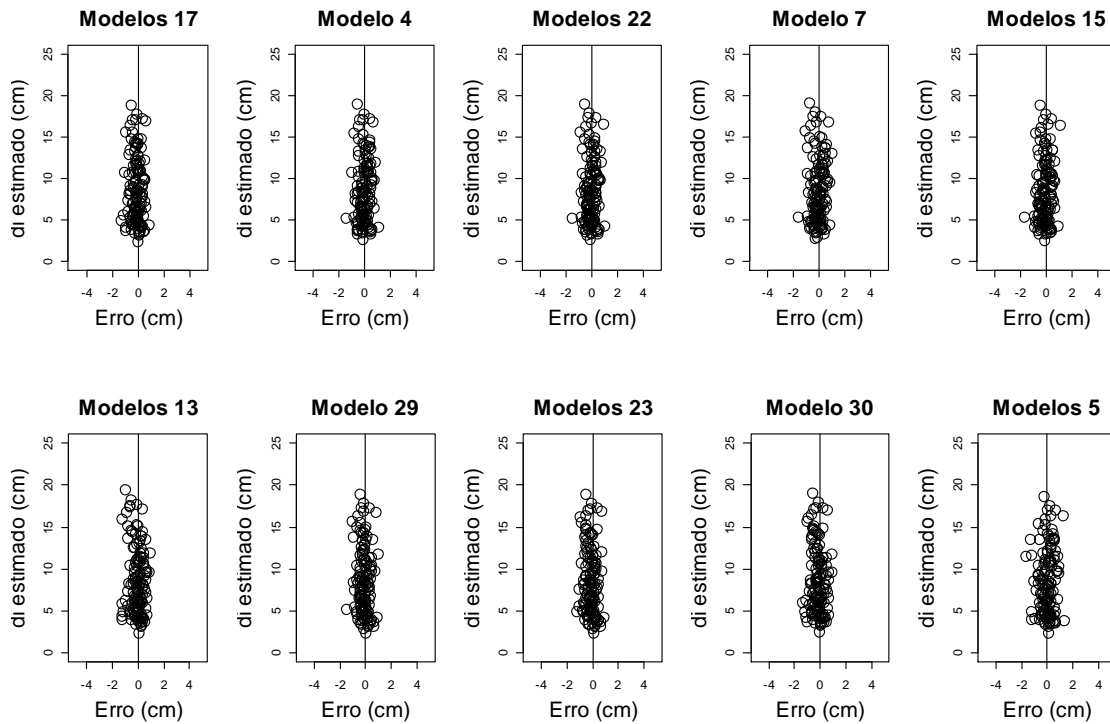


Figura 5. Distribuição de resíduos dos 10 melhores modelos ajustados com o banco de dados 2 e aplicação no banco de dados 1 de *Corymbia citriodora*.

5 CONCLUSÃO

- Conclui-se com este estudo que o modelo 15 (Muhairwe 1999 I) sobressaiu-se aos demais para *Corymbia citriodora* com 55 meses de idade no Sul do Estado do Tocantins, estimando diâmetro ao longo do fuste pela equação:

$$\hat{d}_i = 1,495739d^{0,822131}1,008209d(1 - \sqrt{z})^{[0,275294z^2 + (\frac{-0,01646}{z}) - 0,0272d + 0,020395h + 0,491656(\frac{d}{h})]} + \varepsilon$$

- A análise de variância resultante do delineamento em blocos casualizados em parcelas subdivididas não forneceu base conclusiva suficiente para escolha do modelo mais adequado a aplicação nesta situação.

- Os modelos de maior uso no Brasil, Demaerschalk, Kozak et al., Ormerod, Hradeztky e Schöefer, de forma geral, apresentaram desempenhos insatisfatórios para descrever taper de para *Corymbia citriodora* no Tocantins.

- Para aos modelos ainda não testados no Brasil, ressalta-se que cinco destacaram-se pelo bom desempenho estando entre os onze de melhor resultado, quais sejam: modelos de Kozak (2004), Muhairwe (1993), Cervera (1973), Lee et al. (2003) e Sharma and Parton (2009), evidenciando assim a importância de incorporar tais modelos em outros estudos no país.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHRENS, S.; HOLBERT, D. Uma função para forma de tronco e volume de *Pinus taeda* L. **Boletim de Pesquisa Florestal**, EMBRAPA, v. 3, p. 37-68, 1981.

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.; SCHMITT, T. Modelos volumétricos de dupla entrada avaliados para *Pinus caribaea* var. hondurensis no município de Posse, Goiás. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 34, n. 4, p. 656-668, 2016.

ARAÚJO, E. J. G.; PELISSARI, A. L.; DAVID, H. C.; MIRANDA, R. O. V.; NETTO, S. P.; MORAIS, V. A.; SCOLFORO, J. R. S. Relações dendrométricas em fragmentos de povoamentos de pinus em Minas Gerais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, p. 355-366, 2012.

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

BANZATTO, D.A., KRONKA, S.N. **Experimentação agrícola**. 3.ed. Jaboticabal: FUNEP, 1995. 275 p.

BORGES, J. F. **Seccionamento, do fuste de *Pinus taeda* L. para obtenção do volume de madeira serrada, através da função de forma polinomial**. 1981. 162f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

CAMPOS, B. P. F.; BINOTI, D. H. B.; 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, p. 513, 2014.

CAMPOS, J. C. C.; TREVIZOL JÚNIOR, T. L.; PAULA NETO, F. Ainda, sobre seleções de equações de volume. **Revista árvore**, Viçosa, v. 2, n. 9, p. 115-126, 1985.

CARVALHO, S. P. C.; RODRIGUEZ, L. C. E.; SILVA, L. D.; CARVALHO, L. M. T.; CALEGARIO, N.; LIMA, M. P.; SILVA, C. A.; MENDONÇA, A. R.; NICOLETTI, M. F. Predição do volume de árvores integrando LiDAR e geoestatística. **Scientia Forestalis**, v. 43, p. 627-637, 2015.

CELLINI, J. M.; PASTUR, G. M.; WABÖ, E.; LENCINAS, M. V. Modelos de perfil de tronco en *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser y su utilización en el cálculo del volumen total. **Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales**, v. 11 n. 2, p. 246-261, 2002.

COUTO, H. T. Z.; BASTOS, N. L. M. Modelos de equações de volume e relações hipsométricas para plantações de *Eucalyptus* no Estado de São Paulo. **Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais - IPEF**, Piracicaba, n. 37, p. 33-44, 1987.

COUTO, H. T. Z.; VETTORAZZO, S. C. Seleção de equações de volume e peso seco comercial para *Pinus taeda*. **CERNE**, Lavras, v. 5, n. 1, p. 69-80, 1999.

DAVID, H. C.; MARINHESKI FILHO, A.; PELISSARI, A.; PÉLLICO NETTO, S.; ARAÚJO, E.; BAUM, L. Critérios de estratificação para o ajuste de funções de afilamento em fustes de pinus. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, p. 197-206, 2014.

DRESCHER, R.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Sortimentos de *Pinus elliottii* Engelm para a região da Serra do Sudeste do Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 55-73, 1999.

DUAN, A.; ZHANG, S.; ZHANG, X.; ZHANG, J. Development of a stem taper equation and modelling the effect of stand density on taper for Chinese fir plantations in Southern China. **Peerj**, 2016.

FINGER, C. A. G.; ZANON, M. L. B.; SCHNEIDER, P. R.; KLEIN, J. E. M.; COELHO, M. C. B. Funções de forma para *Eucalyptus dunnii* Maiden implantados na Depressão Central e Encosta do Sudeste do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 399-403, 1995.

FISCHER, F.; SCOLFORO, J. R. S.; ACERBI JÚNIOR, F. W.; MELLO, J. M. de; MAESTRI, R. Exatidão dos modelos polinomiais não segmentados e das razões entre volumes para representar o perfil do tronco de *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 167-188, 2001.

GUIMARÃES, D. P.; LEITE, H. G. Influência do número de árvores na determinação de equação volumétrica para *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, n. 50, p. 37-42, 1996.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. (Monitoramento Climático). INMET. 2016. Disponível em: <www.imet.go.br/portal/index.php?r=clima/page&page=desvioChuvaAnual>. Acesso em: 13.ago.2017.

KOHLER, S. V.; KOEHLER, H. S.; FIGUEIREDO FILHO, A. Modelos de Afilamento para *Pinus taeda* por Classes de Idade. **FLORAM - Revista Floresta e Ambiente**, p. 470-479, 2013.

LANSSANOVA, L. R.; UBIALLI, J. A.; ARCE, J. E.; PELISSARI, A. L.; FAVALESSA, C. C.; DRESCHER, R. Avaliação de funções de afilamento para a estimativa de diâmetro de espécies florestais comerciais do bioma amazônico mato-grossense. **Floresta**, Curitiba, v. 43, p. 215, 2013.

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

LI, R.; WEISKITTEL, A. R.; Comparison of model forms for estimating stem taper and volume in the primary conifer species of the North American Acadian Region. **Annals of Forest Science**, v. 67, n. 3, 2010.

MARTINS, A. P. M.; DEBASTIANI, A. B.; PELISSARI, A. L.; SANQUETTA, C. R.; MACHADO, S. A. Estimativa do afilamento do fuste de Araucária utilizando técnicas de inteligência artificial. **FLORAM - Revista Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017.

MENDONÇA, A. R.; CALEGARIO, N.; SILVA, G. F.; SOUZA, A. L.; TRUGILHO, P. F.; CARVALHO, S. P. C.; POSSATO, E. L. Modelagem da produção de sortimentos em povoamentos de eucalipto. **CERNE**, v. 20, p. 587-594, 2014.

MENDONÇA, A. R.; SILVA, G. F.; 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**, v. 13, p. 71-82, 2007.

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

MÔRA, R.; SILVA, G. F.; GONCALVES, F. G.; SOARES, C. P. B.; CHICHORRO, J. F.; CURTO, R. A. Análise de diferentes formas de ajuste de funções de afilamento. **Scientia Forestalis (IPEF)**, v. 42, p. 237-249, 2014.

PELLISSARI, A. L.; LANSSANOVA, L. R.; DRESCHER, R. Modelos volumétricos para Pinus tropicais, em povoamento homogêneo, no Estado de Rondônia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 67, p. 173-181, 2011.

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. **Mensura florestal**. San José: GTZ-IICA, 586p. 1997.

QUEIROZ, D.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARCE, J.; KOEHLER, E. H. S. Identidade de modelos em funções de afilamento para *Mimosa scabrella* Bentham em povoamentos nativos da região metropolitana de Curitiba/PR. **Floresta**, v. 38, n. 2, p. 339-349, 2008.

QUEIROZ, D.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARCE, J. E.; KOEHLER, H. S. Avaliação e validação de funções de afilamento para *Mimosa scabrella* Bentham em povoamentos da região metropolitana de Curitiba/PR. **Floresta**, v. 36, p. 183-199, 2006.

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, p. 534-543, 2016.

ROJO, A.; PERALES, X.; SÁNCHEZ-RODÍGUEZ, F. Stem taper functions for maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) in Galicia (Northwestern Spain). **Eur J Forest Res**, p. 177-186, 2005.

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

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; KLEIN, J. E. M.; TOTTI, J. A. Forma de tronco e sortimentos de madeira de *Eucalyprus grandis* Maiden para o estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 79-88, 1996.

SCOLFORO, J. R. S. **Mensuração florestal 3: Relações quantitativas em volume, peso e a relação hipsométrica**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1993. 292 p.

SILVA, F.; CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, C. R. Equações de afilamento para descrever o volume total do fuste de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* na região do Triângulo Mineiro. **Scientia Forestalis**, v. 39, p. 133-142, 2011.

SOARES, C. P. B.; Martins, F. B.; LEITE JUNIOR, H. U.; SILVA, G. F.; FIGUEIREDO, L. T. M. Equações hipsométricas, volumétricas e de taper para onze espécies nativas. **Revista Árvore**, v. 35, p. 1039-1053, 2011.

SOARES, T. S.; VALE, A. B.; LEITE, H. G.; MACHADO, C. C. Otimização de multiprodutos em povoamentos florestais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 811-820, 2003.

SOUZA, C. A. M.; SILVA, G. F.; XAVIER, A. C.; MEDONCA, A. R.; ALMEIDA, A. Q. Avaliação de modelos de afilamento não-segmentados na estimação da altura e volume comercial de *Eucalyptus sp.* **Ciência Florestal**, v. 18, p. 393-405, 2008.

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.

YOSHITANI JUNIOR, M.; NAKAJIMA, N.; ARCE, J. E.; MACHADO, S. A.; DRUSZCZ, J. P.; HOSOKAWA, R. T.; MELLO, A. A. Funções de afilamento para plantios desbastados de *Pinus taeda*. **Floresta**, v. 42, n. 1, p. 169-176, 2012.

CAPÍTULO 2

EQUAÇÕES DE PERFIL DE TRONCO PARA *Corymbia citriodora* COM E SEM CASCA NO SUL DO ESTADO DO TOCANTINS

Resumo: Este trabalho teve por objetivo avaliar quatro modelos de taper ajustados com dados de *Corymbia citriodora* com e sem casca, tendo 55 meses de idade e localizado na região sul do Estado do Tocantins. Foram abatidas e cubadas 35 árvores-amostra com medições dos diâmetros ao longo do tronco nas posições: 0,2 m, 0,4 m, 0,7 m, 1,3m, 2,7 m e, a partir deste ponto em diante a cada 2 metros até um diâmetro em torno de 1,0 cm com casca. A avaliação dos modelos se deu pelas seguintes estatísticas: coeficiente de determinação ajustado, erro padrão da estimativa, distribuição gráfica dos resíduos, média dos desvios absolutos, desvio padrão das diferenças, soma dos quadrados dos resíduos relativos, média dos desvios percentuais, raiz quadrada do erro médio, viés e coeficiente de correlação múltipla. Concluiu-se que o modelo 3 (Muhairwe I) sobressaiu-se como o de melhor desempenho entre todos os modelos de taper avaliados, sendo este submetido a metodologia da inclusão da variável binária "Tx" para ajuste simultâneo com e sem casca, confirmando a viabilidade da utilização desta metodologia.

Palavras-chave: Taper; diâmetro; variável binária; *Corymbia citriodora*

Abstract: The objective of this work was to evaluate 4 models of taper adjusted with data of *Corymbia citriodora* with and without bark, being 55 months old and located in the southern region of the State of Tocantins. 35 sample trees were harvested and sampled with measurements of the diameters along the trunk at the positions: 0.2 m, 0.4 m, 0.7 m, 1.3 m, 2.7 m, from this point onwards every 2 meters to a diameter of about 1.0 cm with bark. The model evaluation was based on the following statistics: adjusted coefficient of determination, standard error of the estimate, graphical distribution of the residuals, mean absolute deviations, standard deviation of the differences, sum of squares of relative residues, mean of the percentage deviations, square root of mean error, bias and multiple correlation coefficient. It was concluded that model 3 (Muhairwe I) stood out as the best performance among all the taper models evaluated, being submitted to the methodology of inclusion of the binary variable "Tx" for simultaneous adjustment with and without shell, confirming the feasibility of using this methodology.

Key words: Taper; diameter; binary variable; *Corymbia citriodora*.

7 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por produtos de origem florestal, entre eles a madeira, gera uma proporcional exigência de diversidade e qualidade no mercado, sendo necessário conhecer a forma de fustes e voltando as atenções para técnicas precisas de quantificação e qualificação deste produto (ANGELO et al. 1997; LEITE et al. 2006). Para Soares et al. (2003), atualmente se tem uma tendência a utilização das plantações florestais para multiprodutos, onde se tem uso de um mesmo fuste voltado a serraria, laminação, fabricação de celulose e papel e resíduos direcionados a produção de chapas de fibras e energia.

Neste contexto, inserem-se as equações de taper, que segundo Husch et al. (1982), tem por função descrever perfil do fuste de árvores. Sua vasta utilização, se dá pela alta flexibilidade destas em estimar, não só diâmetro ao longo do tronco, mas também alturas em qualquer diâmetro, volumes parciais, totais e comerciais de árvores (PRODAN et al. 1997; HORLE et al. 2010; MÔRA et al. 2014). Sendo assim, é mediante o emprego de equações de taper que se obtém informações referentes a quantidade de toras vinculadas as dimensões mínimas exigidas para cada multiproduto a que se deseja destinar o povoamento florestal, o que por sua vez permite um melhor planejamento financeiro e logístico, sendo que para isto, equações de taper é a metodologia mais difundida (YOSHITANI JUNIOR et al. 2012).

Neste sentido, visando um maior detalhamento nas informações advindas de povoamentos florestais, estudos têm sido realizados com o intuito de conseguir um melhor aproveitamento na conversão de fustes. Portanto, utilizar-se de dados sem casca se mostra grande importância uma vez que permite estimativas ainda mais próximas aos parâmetros reais, podendo este ser ajustado de forma simultânea aos dados convencionais com casca.

À vista disso, como se tem interesse em descrever o fuste com e sem casca, exige-se equações próprias para isso. Ao utilizar-se da variável binária T_x , pode-se empregar uma técnica que permite o ajuste de uma só equação para obter valores com e sem casca ao se fazer $T_x=0$ para com casca e $T_x=1$ para sem casca (LEITE et al. 1995; SILVA et al. 1996; SILVA et al. 1997; SILVA et al. 1999; SOARES et al.

2003; SOARES et al. 2004; SANTANA et al. 2005, LEITE et al. 2005 e LEITE et al. 2006).

Dado o exposto, e ciente da importância de descrever o perfil de troncos com e sem casca em povoamentos florestais, este estudo objetivou avaliar diferentes modelos de taper com emprego da variável binária Tx para *Corymbia citriodora* localizado na região sul do Estado do Tocantins.

8 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo caracteriza-se por plantios de *Corymbia citriodora* instalados na região sul do estado do Tocantins. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, tropical com estação seca, temperatura média em torno de 28 a 30 °C e média pluviométrica em torno de 1000 a 1200 mm/ano (INMET, 2016).

Para o ajuste dos modelos de taper foram cubadas 35 árvores-amostra na idade de 55 meses com obtenção dos diâmetros nas posições 0,2 m, 0,4 m, 0,7 m, 1,3m, 2,7 m e, a partir deste ponto em diante a cada 2 metros até um diâmetro em torno de 1,0 cm com casca. Sendo assim, procedeu-se ao ajuste de quatro modelos de taper sem casca conforme testados por Andrade (2014), Cellini et al. (2002), Rojo et al. (2005), nos quais apresentam-se as referências dos seguintes modelos utilizados:

Kozak (1988):

$$\hat{d}_1 = \beta_0 d^{\beta_1} \beta_2^d \left[\frac{(1-\sqrt{z})}{(1-\sqrt{P})} \right]^{\left[\beta_3(z)^2 + \beta_4 \ln(z+0,001) + \beta_5 \sqrt{z} + \beta_6 \exp(z) + \beta_7 \left(\frac{d}{h} \right) \right]} \dots \dots \dots (1),$$

Guimarães & Leite (1992):

$$\left(\frac{\hat{d}_1}{d} \right) = \{ \exp[1 - \exp(1,3 - h_i)] \}^{\beta_1} (x)^{\beta_2} + \varepsilon \dots \dots \dots (2),$$

Muhairwe (1999) I:

$$\hat{d}_1 = \beta_1 d^{\beta_2} \beta_3^d (1 - \sqrt{z})^{\left[\beta_4 z^2 + \left(\frac{\beta_5}{z} \right) + \beta_6 d + \beta_7 h + \beta_8 \left(\frac{d}{h} \right) \right]} + \varepsilon \dots \dots \dots (3),$$

Lee et al. (2003):

$$\hat{d}_1 = \beta_1 d^{\beta_2} (1 - z)^{\beta_3 z^2 + \beta_4 z + \beta_5} + \varepsilon \dots \dots \dots (4).$$

Em que \hat{d}_1 =diâmetro estimado (cm), d =DAP(cm), h =altura (m), \ln =Logaritmo neperiano, $x = \left(\frac{h-h_i}{h-1,3} \right)$, $L = (h - h_i)$, $z = \left(\frac{h_i}{h} \right)$, β_0 à β_8 =coeficientes de regressão à serem estimados, ε =erro aleatório do modelo.

Para efeito de comparação, os quatro modelos foram previamente avaliados por meio dos critérios estatísticos: análise gráfica de distribuição de resíduos, erro padrão residual (Syx), coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}). Em seguida, para avaliação da capacidade de generalização dos modelos, aplicou-se a técnica

da validação cruzada, conforme realizado por Carvalho et al. (2015) e Martins et al. (2017). Tal método, consiste no particionamento do conjunto de dados em dois subconjuntos, sendo um para o ajuste dos modelos e outro para avaliação e vice-versa.

Em continuidade, os modelos foram avaliados novamente por meio dos critérios estatísticos: média dos desvios absolutos (MDA), desvio padrão das diferenças (SD), Soma dos quadrados dos resíduos relativos (SQRR), média dos desvios percentuais (MDP), raiz quadrada do erro médio (REQM), viés (V) e coeficiente de correlação múltipla (R_{yx}), critérios estes muito utilizados na avaliações de equações, como: Campos et al. (1985), Couto e Bastos (1987), Guimarães e Leite (1996), Couto e Vettorazzo (1999), Mendonça et al. (2007), Souza et al. (2008a), Souza et al. (2008b), Souza et al. (2008c), Oliveira et al. (2009), Andrade (2014), Campos et al. (2014), Môra et al. (2014), Schikowski et al. (2015), Andrade e Schmitt (2016) e Ribeiro e Andrade (2016).

Os valores de tais estatísticas foram classificados e integrados em um valor único através da atribuição de notas que variam de 1 a “n” (em que: n=número total de modelos classificados). Desta forma, foi concedido nota 1 a equação de melhor resultado, 2 a equação de segunda colocação, e assim consecutivamente até a pior colocação, procedimento este em conformidade com Queiroz et al. (2008) e Pelissari et al. (2011). Sendo assim, definiu-se a classificação geral por meio do somatório de notas (TGT), que aliado à análise de distribuição de resíduos, designou o modelo mais adequado para estimar diâmetro sem casca ao longo do tronco em plantios de *Corymbia citriodora* no Sul do Estado do Tocantins.

Concluída a análise, utilizou-se o modelo selecionado empregando-se a variável binária “Tx” (LEITE et al. 1995; SILVA et al. 1996; SILVA et al. 1997; SILVA et al. 1999; SOARES et al. 2003; SANTANA et al. 2005; LEITE et al. 2006).

9 RESULTADOS E DISCUSSÃO

9.1 Estatística Descritiva

Conforme a Tabela 6, são apresentadas as estatísticas descritivas para as variáveis diâmetro ao longo do tronco sem casca, DAP e altura total. Contata-se uma variação de 4,8 a 19,0 m para altura e de 3,3 a 16,9 cm para DAP, com média de 14,3 m e de 10,8 cm, respectivamente. Também, 50% das árvores tem diâmetro entre 7,2 e 14,5 cm e altura entre 11,8 e 17,6 m. Já para o diâmetro medido ao longo do tronco sem casca, observa-se uma variação de 1,1 a 17,2 cm, com média de 7,8 cm. Também, 50% dos diâmetros medidos ao longo do tronco encontram-se entre 4,6 a 10,6 cm para sem casca.

Tabela 6. Estatísticas descritivas de 35 árvores-amostra de *Corymbia citriodora* sem casca cubadas com 55 meses de idade no sul do Tocantins.

	Disc (cm)	DAP (cm)	H (m)
Máximo	17,2	16,9	19,0
Mínimo	1,1	3,3	4,8
Média	7,8	10,8	14,3
Amplitude	16,1	13,5	14,2
P25	4,6	7,2	11,8
P75	10,6	14,5	17,6
CV	47,0	35,6	26,0

Em que: Disc=diâmetro medido ao longo do tronco sem casca, DAP=diâmetro a altura do peito, H=altura, P25=percentil 25, P75=percentil 75.

9.2 Taper sem casca

Na Tabela 7, apresentam-se as estimativas dos coeficientes e estatísticas de precisão dos quatro modelos de taper avaliados com o total de 35 árvores-amostra. De forma geral, foram obtidos valores aceitáveis de R^2_{aj} e S_{yx} , com destaque negativo para o modelo 2 que apresentou o menor valor de R^2_{aj} (0,947) e o valor mais elevado de S_{yx} (10,83%). Para os demais modelos, contata-se altos valores de coeficientes de determinação ajustado, variando de 0,987 a 0,989, o que permite inferir um alto grau de ajuste de tais modelos.

Tabela 7. Coeficientes estimados e estatísticas de ajuste e precisão obtidas no ajuste de modelos de taper para as 35 árvores-amostra de *Corymbia citriodora* sem casca com 55 meses de idade no sul do Tocantins.

Modelo	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	Syx%	R ² aj
1	1,3603	0,6694	1,0261	0,05	-0,026	-0,419	0,3541	0,2005		4,91	0,989
2		0,03	0,93							10,83	0,947
3		1,4534	0,7069	1,0245	0,3109	-0,013	-0,021	0,0171	0,4418	5,14	0,988
4		1,1802	0,9437	2,1231	-2,761	1,667				5,44	0,987

Em que: β_0 à β_7 =coeficientes de regressão à serem estimados, R²aj=coeficiente de determinação ajustado, Syx%=erro padrão residual.

Quanto a estatística de erro padrão residual, nota-se que a mesma varia de 4,91 a 5,44%, conferindo assim superioridade dos modelos 1, 3 e 4 para estimar diâmetro sem casca ao longo do tronco de *Corymbia citriodora* com 55 meses de idade no Sul do Estado do Tocantins, conforme corroborado pela distribuição gráfica de resíduos (Figura 6).

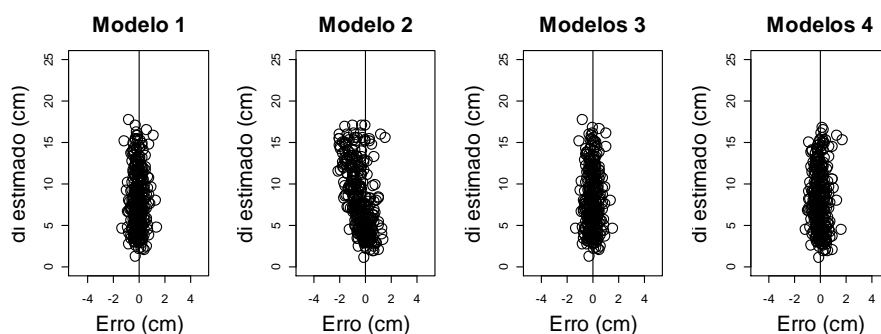


Figura 6. Distribuição de resíduos dos modelos ajustados com dados de 35 árvores-amostra de *Corymbia citriodora* sem casca com 55 meses de idade no Sul do Tocantins.

Em continuidade a avaliação dos modelos, os mesmos foram submetidos à validação cruzada, onde particionou-se os dados através da alternância das posições de mensuração dos diâmetros ao longo do tronco obtidos na cubagem. A seguir, Tabela 8, são apresentados os resultados para as estimativas das equações dos quatro modelos avaliados, bem como resultados dos critérios MDA, SD, SQRR, MDP, RQEM, VIÉS, DPD e RYX (Tabela 9).

Tabela 8. Coeficientes estimados e estatísticas de precisão obtidas no ajuste dos modelos de taper em diferentes bancos de dados para *Corymbia citriodora* sem casca aos 55 meses de idade no sul do Tocantins.

Modelo	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	Syx%	R ² aj
Ajuste com banco de dados 1											
1	1,1743	0,7572	1,0211	-2,2692	0,5507	-5,4487	3,0900	0,2458		7,92	0,973
2		0,0310	0,9416							9,55	0,961
3		1,2828	0,7787	1,0192	0,3318	-0,0136	-0,0204	0,0152	0,4471	5,77	0,986
4		1,1088	0,9627	1,7649	-2,2569	1,4829				6,35	0,983
Ajuste com banco de dados 2											
1	1,5520	0,5764	1,0338	0,0041	-0,0144	-0,6524	0,4605	0,2027		5,40	0,987
2		0,0241	0,9229							11,21	0,943
3		1,6795	0,6103	1,0329	0,2965	-0,0126	-0,0196	0,0167	0,4386	5,59	0,986
4		1,2214	0,9343	2,1385	-2,8310	1,7179				5,49	0,986

Em que: β_0 à β_8 =coeficientes de regressão à serem estimados, R²aj=coeficiente de determinação ajustado, Syx%=erro padrão residual.

Tabela 9. Estatísticas adotadas para classificação dos modelos de taper, ajustados com dados de *Corymbia citriodora* sem casca com 55 meses de idade localizados no Sul do Tocantins.

Modelo	MDA	SD	SQRR	MDP	RQEM	VIÉS	DPD	RYX	TG	TGT
validação no banco de dados 2										
1	0,435 ³	0,584 ³	0,979 ²	1,550 ³	1,995 ³	0,162 ³	0,341 ³	0,988 ³	23	33
2	0,605 ⁴	0,715 ⁴	1,641 ⁴	-1,583 ⁴	2,627 ⁴	-0,213 ⁴	0,511 ⁴	0,985 ⁴	32	63
3	0,336 ¹	0,439 ¹	0,930 ¹	0,510 ¹	0,548 ¹	0,044 ¹	0,193 ¹	0,993 ¹	8	29
4	0,355 ²	0,480 ²	1,025 ³	1,500 ²	1,288 ²	0,104 ²	0,230 ²	0,992 ²	17	33
validação no banco de dados 1										
1	0,307 ¹	0,391 ¹	0,709 ²	-1,279 ²	0,318 ¹	-0,028 ¹	0,153 ¹	0,994 ¹	10	
2	0,658 ⁴	0,717 ⁴	1,742 ⁴	-4,388 ⁴	4,841 ⁴	-0,420 ⁴	0,515 ⁴	0,987 ³	31	
3	0,316 ²	0,404 ³	0,814 ³	-1,429 ³	0,367 ²	-0,032 ³	0,163 ³	0,993 ²	21	
4	0,320 ³	0,400 ²	0,650 ¹	-0,736 ¹	0,506 ³	-0,044 ²	0,160 ²	0,993 ²	16	

Onde: MDA=média das diferenças absolutas (m³), SD=desvio padrão das diferenças (m³), SQRR=somatório de quadrado dos resíduos relativos em (m³), MDP=média dos resíduos percentuais (%), RQEM=raiz quadrada do erro médio, DPD=desvio padrão das diferenças absolutas, RYX=coeficientes de correlação linear, TG = total geral das notas e TGT = total geral com casca e sem casca. Valores dos expoentes correspondem as notas de cada modelo.

Sendo assim, constata-se pelo somatório geral de notas o modelo 3, conhecido como Muhairwe (1999) I, como o de melhor nível de precisão dentre todos os analisados neste estudo para *Corymbia citriodora* sem casca (TGT=29), onde observa-se maior generalização e estabilidade de precisão, conforme corroborado pela distribuição de resíduo (Figuras 7 e 8).

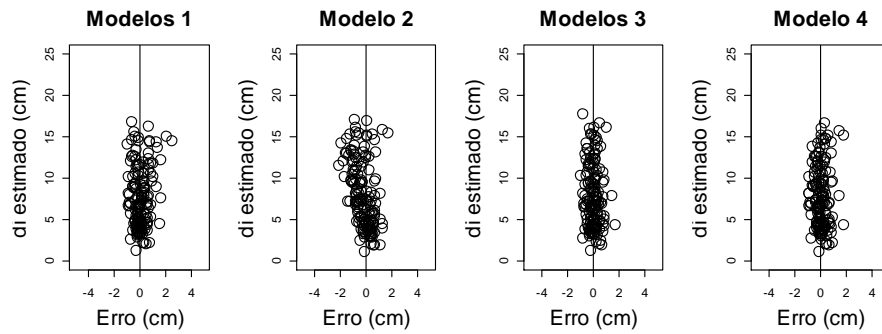


Figura 7. Distribuição de resíduos para os modelos ajustados mediante validação cruzada para o ajuste do banco de dados 1 com aplicação no banco de dados 2.

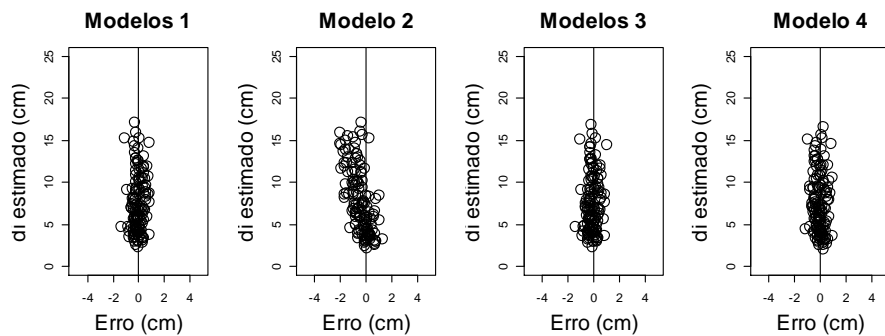


Figura 8. Distribuição de resíduos para os modelos ajustados mediante validação cruzada para o ajuste do banco de dados 2 com aplicação no banco de dados 1.

Andrade (2014), trabalhando com *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis* no estado da Bahia, obteve bons resultados para o modelo de Muhairwe (1999), descrevendo-o como de bom potencial para uso no Brasil, bem como também para Kozak (1988). Portanto, utilizando-se os dados das 35 árvores e as informações da Tabela 2 (capítulo 1; pg. 16) e Tabela 7 (capítulo 2; pg. 33), obteve-se as seguintes equações:

Fuste com casca

$$\hat{d}_{icc} = 1,49574d^{0,82213}1,00821d(1 - \sqrt{z})^{[0,27529z^2 + \frac{(-0,01646)}{z}] - 0,027d + 0,02030h + 0,49166(\frac{d}{h})} + \varepsilon \dots\dots\dots(\text{Eq.1}).$$

Fuste sem casca:

$$\hat{d}_{isc} = 1,4534d^{0,7069}1,0245d(1 - \sqrt{z})^{[0,3109z^2 + \frac{(-0,013)}{z}] - 0,021d + 0,0171h + 0,4418(\frac{d}{h})} + \varepsilon \dots\dots\dots(\text{Eq.2}).$$

9.3 Taper com e sem casca utilizando variável binária Tx

Considerando-se a superioridade dos resultados constatados para o modelo 3, elegeu-se o mesmo para utilização da variável Tx. Tal modelo foi ajustado para permitir quantificar o volume com e sem casca em árvores individuais

simultaneamente, obtendo-se a seguinte equação de taper, sendo $T_x=0$ para fuste com casca e $T_x=1$ para fuste sem casca:

Fuste com e sem casca:

$$\hat{d}_i = 1,5141 * d^{0,7818} * 1,0148^d (1 - \sqrt{z}) \left[0,2411z^2 + \left(\frac{-0,0138}{z} \right) - 0,0239d + 0,0183h + 0,4586 \left(\frac{d}{h} \right) \right] - 0,09448 \left(\frac{T_x}{\frac{1}{d}} \right) + \varepsilon \dots \dots \dots \text{(Eq.3)}$$

Tal equação apresentou um coeficiente de determinação ajustado de 0,986 e 0,984, com erro padrão residual de 5,41% e 5,90% para com e sem casca respectivamente. Sendo assim, para quantificar, simultaneamente, o diâmetro com e sem casca, a equação 3 se mostra viável, uma vez que utilização da razão

$\left(\frac{T_x}{\frac{1}{d}} \right)$ atribuiu melhor caracterização do volume representado pela casca, que para este caso específico foi obtido através de $-0,09448 \left(\frac{T_x}{\frac{1}{d}} \right)$.

Conforme observados pelos valores individuais das estatísticas adotadas (Tabela 10), nota-se uma tendência a elevação dos valores obtidos posteriores a inclusão da variável T_x nesta equação. Todavia, ressalta-se a importância desta metodologia, uma vez que tal ocorrência não compromete os resultados das estimativas diamétricas e se justifica pela significativa redução da onerosidade do trabalho, conforme demonstrado pela Figura 9.

Tabela 10. Estatísticas adotadas para classificação dos modelos de taper utilizando a variável T_x comparada à que foi gerada pelo modelo 3 ajustados com dados de *Corymbia citriodora* com 55 meses de idade localizados no Sul do Tocantins.

Com Casca								
Equação	MDA	SD	SQRR	MDP	RQEM	VIÉS	DPD	RYX
Eq. 1	0,314	0,416	1,631	-0,496	0,019	-0,001	0,173	0,995
Eq. 3 ($T_x=0$)	0,356	0,473	2,255	-0,965	0,414	0,023	0,223	0,994
Sem Casca								
Eq. 2	0,303	0,396	1,684	-0,538	0,017	-0,001	0,157	0,994
Eq. 3 ($T_x=1$)	0,354	0,453	1,948	0,020	0,442	-0,025	0,205	0,993

Onde: MDA=média das diferenças absolutas (m^3), SD=desvio padrão das diferenças (m^3), SQRR=somatório de quadrado dos resíduos relativos em (m^3), MDP=média dos resíduos percentuais (%), RQEM=raiz quadrada do erro médio, DPD=desvio padrão das diferenças absolutas e RYX=coeficientes de correlação linear.

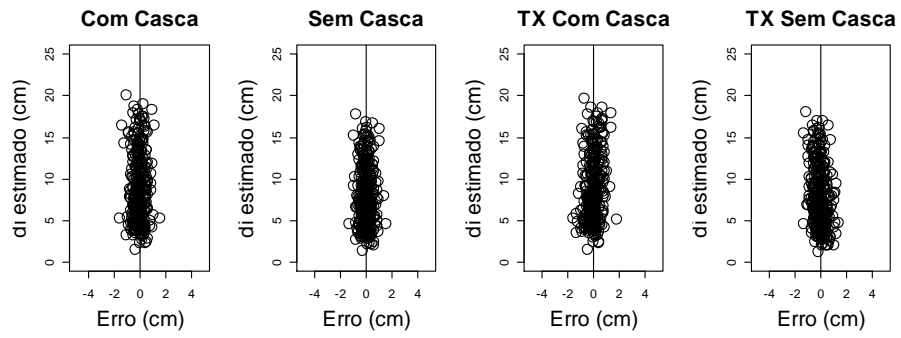


Figura 9. Distribuição de resíduos para equações de taper geradas pelo modelo 3 com casca, sem casca e com a inclusão da variável Tx para *Corymbia citriodora* com casca aos 55 meses de idade no sul do Tocantins.

10 CONCLUSÃO

- Conclui-se com este estudo, que o modelo 3 (Muhairwe I) sobressaiu-se como o melhor para *Corymbia citriodora* com 55 meses de idade no Sul do Tocantins, obtendo-se as seguintes equações com e sem casca respectivamente:

$$\hat{d}_{icc} = 1,49574d^{0,82213}1,00821^d(1 - \sqrt{z})^{[0,27529z^2 + (\frac{-0,01646}{z}) - 0,027d + 0,02030h + 0,49166(\frac{d}{h})]} + \varepsilon$$

$$\hat{d}_{isc} = 1,4534d^{0,7069}1,0245^d(1 - \sqrt{z})^{[0,3109z^2 + (\frac{-0,013}{z}) - 0,021d + 0,0171h + 0,4418(\frac{d}{h})]} + \varepsilon$$

- Concluiu-se também, que o uso da variável “Tx” apresentou-se viável para uso em substituição ao ajuste realizado separadamente com e sem casca, sendo que, neste caso a equação estimada após a inclusão da variável binária é representada por:

$$\hat{d}_i = 1,5141 * d^{0,7818} * 1,0148^d(1 - \sqrt{z})^{[0,2411z^2 + (\frac{-0,0138}{z}) - 0,0239d + 0,0183h + 0,4586(\frac{d}{h})]} - 0,09448\left(\frac{Tx}{d}\right) + \varepsilon.$$

11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.; SCHMITT, T. Modelos volumétricos de dupla entrada avaliados para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* no município de Posse, Goiás. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 34, n. 4, p. 656-668, 2016.

ANGELO, H. et al. Análise de componentes principais e função spline para definir a forma do tronco de *Pinus tropicais*, **Floresta**, v.25, n.1/2, p.55-67, 1997.

CAMPOS, B. P. F.; BINOTI, D. H. B.; 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 (IPEF)**, v. 42, p. 513, 2014.

CAMPOS, J. C. C.; TREVIZOL JÚNIOR, T.L.; PAULA NETO, F. Ainda, sobre seleções de equações de volume. *Revista árvore*, Viçosa, v. 2, n. 9, p. 115-126, 1985.

CARVALHO, S. P. C.; RODRIGUEZ, L. C. E.; SILVA, L. D.; CARVALHO, L. M. T.; CALEGARIO, N.; LIMA, M. P.; SILVA, C. A.; MENDONÇA, A. R.; NICOLETTI, M. F. Predição do volume de árvores integrando LiDAR e geoestatística. **Scientia Forestalis**, v. 43, p. 627-637, 2015.

CELLINI, J. M.; PASTUR, G. M.; WABÖ, E.; LENCINAS, M. V. Modelos de perfil de tronco en *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser y su utilización en el cálculo del volumen total. **Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales**, v. 11 n. 2, p. 246-261, 2002.

COUTO, H. T. Z.; BASTOS, N. L. M. Modelos de equações de volume e relações hipsométricas para plantações de *Eucalyptus* no Estado de São Paulo. *Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais - IPEF*, Piracicaba, n. 37, p. 33-44, 1987.

COUTO, H. T. Z.; VETTORAZZO, S. C. Seleção de equações de volume e peso seco comercial para *Pinus taeda*. **CERNE**, Lavras, v. 5, n. 1, p. 69-80, 1999.

GUIMARÃES, D. P.; LEITE, H. G. Influência do número de árvores na determinação de equação volumétrica para *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, n. 50, p. 37-42, 1996.

HORLE, D. C.; MENDONÇA, A. R.; CARVALHO, S. P. C.; CALEGARIO, N. Modelagem não linear do perfil longitudinal de fustes de *Pinus oocarpa*. **CERNE**, v. 16, p. 177-184, 2010.

HUSCH, B.; MILLER, C. L.; BEERS, T. E. **Forest mensuration**. 3 ed. New York: J. Willey & Sons, 1982. 397p.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. (Monitoramento Climático). INMET. 2016. Disponível em:
<www.imet.go.br/portal/index.php?r=clima/page&page=desvioChuvaAnual>. Acesso em: 13.ago.2017.

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

LEITE, H. G.; GUIMARÃES, D. P.; CAMPOS, J. C. C. Descrição e Emprego de Um Modelo Para Estimar Múltiplos Volumes de Árvores. **Revista Árvore**, Viçosa, Minas Gerais, v. 19, n. 1, p. 1-21, 1995.

LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; CAMPOS, J. C. C.; SOUZA, A. L.; CARVALHO, A. Avaliação de um modelo de distribuição diamétrica ajustado para povoamentos de *Eucalyptus* sp. submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa MG, v. 29, n. 2, p. 271-280, 2005.

MARTINS, A. P. M.; DEBASTIANI, A. B.; PELISSARI, A. L.; SANQUETTA, C. R.; MACHADO, S. A. Estimativa do afilamento do fuste de Araucária utilizando técnicas de inteligência artificial. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017.

MENDONÇA, A. R.; SILVA, G. F.; 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**, v. 13, p. 71-82, 2007.

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.

PELISSARI, A. L.; LANSSANOVA, L. R.; DRESCHER, R. Modelos volumétricos para *Pinus* tropicais, em povoamento homogêneo, no Estado de Rondônia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 67, p. 173-181, 2011.

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. **Mensura florestal**. San José: GTZ-IICA, 586p. 1997.

QUEIROZ, D.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARCE, J.; KOEHLER, E. H. S. Identidade de modelos em funções de afilamento para *Mimosa scabrella* Benth em povoamentos nativos da região metropolitana de Curitiba/PR. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 2, p. 339-349, 2008.

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, p. 534-543, 2016.

ROJO, A.; PERALES, X.; SÁNCHEZ-RODÍGUEZ, F. Stem taper functions for maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) in Galicia (Northwestern Spain). **Eur J Forest Res**, p. 177-186, 2005.

SANTANA, C.; MELLO, A. A.; EISFELD, R. L.; SANQUETTA, C. R. Sistema de equações para simulação do crescimento e da produção em povoamentos de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. Sem desbaste baseado no modelo de Clutter. **Revista Ambiência**, Guarapuava - PR, v. 1, n. 2, p. 239-256, 2005.

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

SILVA, G. F.; CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. Alternativas para estimar o volume comercial em árvores de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 20, n.4, p. 467-481, 1996.

SILVA, G. F.; CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G.; SOUZA, A. L. Uso de métodos estatísticos para comparar alternativas de estimação do volume comercial. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 21, n. 1, p. 99-111, 1997.

SILVA, M. L.; FONTES, A. A.; LEITE, H. G. Rotação econômica em plantações de eucalipto não desbastadas e destinadas a multiprodutos. **Revista Árvore**, v. 23, n.4, p. 403-412, 1999.

SOARES, T. S.; LEITE, H. G.; VALE, A. B. Um modelo alternativo para a quantificação de multiprodutos em árvores individuais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 875-882, 2004.

SOARES, T. S.; VALE, A. B.; LEITE, H. G.; MACHADO, C. C. Otimização de multiprodutos em povoamentos florestais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 811-820, 2003.

SOUZA, C. A. M.; CHASSOT, T.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R.; FLEIG, F. D. MODELOS DE AFILAMENTO PARA O SORTIMENTO DO FUSTE DE *Pinus taeda* L. **Revista Universidade Rural**. Série Ciências Exatas e da Terra (UFRRJ), v. 38, p. 2510/3-2515, 2008.

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, C. A. M.; SILVA, G. F.; XAVIER, A. C.; MEDONCA, A. R.; ALMEIDA, A. Q. Avaliação de modelos de afilamento não-segmentados na estimação da altura e volume comercial de *Eucalyptus sp.* **Ciência Florestal**, v. 18, p. 393-405, 2008.

YOSHITANI JUNIOR, M.; NAKAJIMA, N.; ARCE, J. E.; MACHADO, S. A.; DRUSZCZ, J. P.; HOSOKAWA, R. T.; MELLO, A. A. Funções de afilamento para plantios desbastados de *Pinus taeda*. **Floresta**, v. 42, n. 1, p. 169-176, 2012.

12 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os modelos mais difundidos e de maior usabilidade no país apresentaram resultados insatisfatórios para os critérios adotados. Além disso ressalta-se a importância da incorporação dos modelos de taper ainda não testados aos estudos no Brasil, uma vez que alguns destes mostraram desempenho satisfatório nesta situação de uso.

A utilização da metodologia de inclusão da variável binária “Tx” mostra-se viável como alternativa ao ajuste realizado separadamente com e sem casca, uma vez que permitiu o ajuste simultâneo dos dados de diâmetro sem comprometer a precisão dos mesmos, propiciando assim uma redução considerável da onerosidade do trabalho.

13 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHRENS, S.; HOLBERT, D. Uma função para forma de tronco e volume de *Pinus taeda* L. **Boletim de Pesquisa Florestal**, EMBRAPA, v. 3, p. 37-68, 1981.

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.; SCHMITT, T. Modelos volumétricos de dupla entrada avaliados para *Pinus caribaea* var. hondurensis no município de Posse, Goiás. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 34, n. 4, p. 656-668, 2016.

ANGELO, H. et al. Análise de componentes principais e função spline para definir a forma do tronco de *Pinus tropicais*, **Floresta**, v.25, n.1/2, p.55-67, 1997.

ARAÚJO, E. J. G.; PELISSARI, A. L.; DAVID, H. C.; MIRANDA, R. O. V.; NETTO, S. P.; MORAIS, V. A.; SCOLFORO, J. R. S. Relações dendrométricas em fragmentos de povoamentos de pinus em Minas Gerais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, p. 355-366, 2012.

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

BANZATTO, D.A., KRONKA, S.N. **Experimentação agrícola**. 3.ed. Jaboticabal: FUNEP, 1995. 275 p.

BORGES, J. F. **Seccionamento, do fuste de *Pinus taeda* L. para obtenção do volume de madeira serrada, através da função de forma polinomial**. 1981. 162f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

CAMPOS, B. P. F.; BINOTI, D. H. B.; 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, p. 513, 2014.

CAMPOS, J. C. C.; TREVIZOL JÚNIOR, T. L.; PAULA NETO, F. Ainda, sobre seleções de equações de volume. **Revista árvore**, Viçosa, v. 2, n. 9, p. 115-126, 1985.

CARVALHO, S. P. C.; RODRIGUEZ, L. C. E.; SILVA, L. D.; CARVALHO, L. M. T.; CALEGARIO, N.; LIMA, M. P.; SILVA, C. A.; MENDONÇA, A. R.; NICOLETTI, M. F. Predição do volume de árvores integrando LiDAR e geoestatística. **Scientia Forestalis**, v. 43, p. 627-637, 2015.

CELLINI, J. M.; PASTUR, G. M.; WABÖ, E.; LENCINAS, M. V. Modelos de perfil de tronco en *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser y su utilización en el cálculo del volumen total. **Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales**, v. 11 n. 2, p. 246-261, 2002.

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

COUTO, H. T. Z.; BASTOS, N. L. M. Modelos de equações de volume e relações hipsométricas para plantações de *Eucalyptus* no Estado de São Paulo. **Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais - IPEF**, Piracicaba, n. 37, p. 33-44, 1987.

COUTO, H. T. Z.; VETTORAZZO, S. C. Seleção de equações de volume e peso seco comercial para *Pinus taeda*. **CERNE**, Lavras, v. 5, n. 1, p. 69-80, 1999.

DAVID, H. C.; MARINHESKI FILHO, A.; PELISSARI, A.; PÉLLICO NETTO, S.; ARAÚJO, E.; BAUM, L. Critérios de estratificação para o ajuste de funções de afilamento em fustes de pinus. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, p. 197-206, 2014.

DRESCHER, R.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Sortimentos de *Pinus elliottii* Engelm para a região da Serra do Sudeste do Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 55-73, 1999.

DUAN, A.; ZHANG, S.; ZHANG, X.; ZHANG, J. Development of a stem taper equation and modelling the effect of stand density on taper for Chinese fir plantations in Southern China. **Peerj**, 2016.

FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. da. Afilamento e forma do tronco de árvores de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* e suas variações com a adubação. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 44, p. 87 - 106, 2002.

FINGER, C. A. G.; ZANON, M. L. B.; SCHNEIDER, P. R.; KLEIN, J. E. M.; COELHO, M. C. B. Funções de forma para *Eucalyptus dunnii* Maiden implantados na Depressão Central e Encosta do Sudeste do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 399-403, 1995.

FISCHER, F.; SCOLFORO, J. R. S.; ACERBI JÚNIOR, F. W.; MELLO, J. M. de; MAESTRI, R. Exatidão dos modelos polinomiais não segmentados e das razões entre volumes para representar o perfil do tronco de *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 167-188, 2001.

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.

GUIMARÃES, D. P.; LEITE, H. G. Influência do número de árvores na determinação de equação volumétrica para *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, n. 50, p. 37-42, 1996.

HORLE, D. C.; MENDONÇA, A. R.; CARVALHO, S. P. C.; CALEGARIO, N. Modelagem não linear do perfil longitudinal de fustes de *Pinus oocarpa*. **CERNE**, v. 16, p. 177-184, 2010.

HUSCH, B.; MILLER, C. L.; BEERS, T. E. **Forest mensuration**. 3 ed. New York: J. Willey & Sons, 1982. 397p.

HUSCH, B.; MILLER, C.I.; BEERS, T.W. **Forest mensuration**. New York: The Ronald Press, 1993. 410p.

IBÁ – Instituto Brasileiro de Árvores. Relatório ibá 2017 ano base 2016. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf>. Acesso em: 5/09/2017.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. (Monitoramento Climático). INMET. 2016. Disponível em: <www.imet.go.br/portal/index.php?r=clima/page&page=desvioChuvaAnual>. Acesso em: 13.ago.2017.

KOHLER, S. V.; KOEHLER, H. S.; FIGUEIREDO FILHO, A. Modelos de Afilamento para *Pinus taeda* por Classes de Idade. **FLORAM - Revista Floresta e Ambiente**, p. 470-479, 2013.

LANSSANOVA, L. R.; UBIALLI, J. A.; ARCE, J. E.; PELISSARI, A. L.; FAVALESSA, C. C.; DRESCHER, R. Avaliação de funções de afilamento para a estimativa de diâmetro de espécies florestais comerciais do bioma amazônico mato-grossense. **Floresta**, Curitiba, v. 43, p. 215, 2013.

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

LEITE, H. G.; GUIMARÃES, D. P.; CAMPOS, J. C. C. Descrição e Emprego de Um Modelo Para Estimar Múltiplos Volumes de Árvores. **Revista Árvore**, Viçosa, Minas Gerais, v. 19, n. 1, p. 1-21, 1995.

LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; CAMPOS, J. C. C.; SOUZA, A. L.; CARVALHO, A. Avaliação de um modelo de distribuição diamétrica ajustado para povoamentos de *Eucalyptus* sp. submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa MG, v. 29, n. 2, p. 271-280, 2005.

LI, R.; WEISKITTEL, A. R.; Comparison of model forms for estimating stem taper and volume in the primary conifer species of the North American Acadian Region. **Annals of Forest Science**, v. 67, n. 3, 2010.

MARTINS, A. P. M.; DEBASTIANI, A. B.; PELISSARI, A. L.; SANQUETTA, C. R.; MACHADO, S. A. Estimativa do afilamento do fuste de Araucária utilizando técnicas de inteligência artificial. **FLORAM - Revista Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017.

MARTINS, A. P. M.; DEBASTIANI, A. B.; PELISSARI, A. L.; SANQUETTA, C. R.; MACHADO, S. A. Estimativa do afilamento do fuste de Araucária utilizando técnicas de inteligência artificial. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017.

MENDONÇA, A. R.; CALEGARIO, N.; SILVA, G. F.; SOUZA, A. L.; TRUGILHO, P. F.; CARVALHO, S. P. C.; POSSATO, E. L. Modelagem da produção de sortimentos em povoamentos de eucalipto. **CERNE**, v. 20, p. 587-594, 2014.

MENDONÇA, A. R.; SILVA, G. F.; 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**, v. 13, p. 71-82, 2007.

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

MÔRA, R.; SILVA, G. F.; GONCALVES, F. G.; SOARES, C. P. B.; CHICHORRO, J. F.; CURTO, R. A. Análise de diferentes formas de ajuste de funções de afilamento. **Scientia Forestalis (IPEF)**, v. 42, p. 237-249, 2014.

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

PELLISSARI, A. L.; LANSSANOVA, L. R.; DRESCHER, R. Modelos volumétricos para *Pinus tropicais*, em povoamento homogêneo, no Estado de Rondônia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 67, p. 173-181, 2011.

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. **Mensura florestal**. San José: GTZ-IICA, 586p. 1997.

QUEIROZ, D.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARCE, J.; KOEHLER, E. H. S. Identidade de modelos em funções de afilamento para *Mimosa scabrella* Benth em povoamentos nativos da região metropolitana de Curitiba/PR. **Floresta**, v. 38, n. 2, p. 339-349, 2008.

QUEIROZ, D.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARCE, J. E.; KOEHLER, H. S. Avaliação e validação de funções de afilamento para *Mimosa scabrella* Benth em povoamentos da região metropolitana de Curitiba/PR. **Floresta**, v. 36, p. 183-199, 2006.

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, p. 534-543, 2016.

ROJO, A.; PERALES, X.; SÁNCHEZ-RODÍGUEZ, F. Stem taper functions for maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) in Galicia (Northwestern Spain). **Eur J Forest Res**, p. 177-186, 2005.

SANTANA, C.; MELLO, A. A.; EISFELD, R. L.; SANQUETTA, C. R. Sistema de equações para simulação do crescimento e da produção em povoamentos de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. Sem desbaste baseado no modelo de Clutter. **Revista Ambiência**, Guarapuava - PR, v. 1, n. 2, p. 239-256, 2005.

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

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; KLEIN, J. E. M.; TOTTI, J. A. Forma de tronco e sortimentos de madeira de *Eucalyptus grandis* Miden para o estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 79-88, 1996.

SCOLFORO, J. R. S. **Mensuração florestal 3: Relações quantitativas em volume, peso e a relação hipsométrica**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1993. 292 p.

SILVA, F.; CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, C. R. Equações de afilamento para descrever o volume total do fuste de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* na região do Triângulo Mineiro. **Scientia Forestalis**, v. 39, p. 133-142, 2011.

SILVA, G. F.; CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. Alternativas para estimar o volume comercial em árvores de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 20, n.4, p. 467-481, 1996.

SILVA, G. F.; CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G.; SOUZA, A. L. Uso de métodos estatísticos para comparar alternativas de estimação do volume comercial. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 21, n. 1, p. 99-111, 1997.

SILVA, J. A. A.; PAULA NETO, F. **Princípios de dendrometria**. Universidade Federal Rural de Pernambuco. 1979. 198 p.

SILVA, M. L.; FONTES, A. A.; LEITE, H. G. Rotação econômica em plantações de eucalipto não desbastadas e destinadas a multiprodutos. **Revista Árvore**, v. 23, n.4, p. 403-412, 1999.

SOARES, C. P. B.; Martins, F. B.; LEITE JUNIOR, H. U.; SILVA, G. F.; FIGUEIREDO, L. T. M. Equações hipsométricas, volumétricas e de taper para onze espécies nativas. **Revista Árvore**, v. 35, p. 1039-1053, 2011.

SOARES, T. S.; LEITE, H. G.; VALE, A. B. Um modelo alternativo para a quantificação de multiprodutos em árvores individuais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 875-882, 2004.

SOARES, T. S.; VALE, A. B.; LEITE, H. G.; MACHADO, C. C. Otimização de multiprodutos em povoamentos florestais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 811-820, 2003.

SOUZA, C. A. M. de; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R.; SILVA, G. F.; THOMAS, C. Eficiência de um modelo de afilamento ajustado sem e com estratificação por classe de quociente de forma para formação dos sortimentos de *Pinus taeda* L. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 1, p. 125 - 135, 2012.

SOUZA, C. A. M.; SILVA, G. F.; XAVIER, A. C.; MENDONÇA, A. R.; ALMEIDA, A. Q. Avaliação de modelos de afilamento não segmentados na estimação da altura e volume comercial de *Eucalyptus* sp. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 3, p. 387 - 399, 2008.

SOUZA, C. A. M.; CHASSOT, T.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R.; FLEIG, F. D. MODELOS DE AFILAMENTO PARA O SORTIMENTO DO FUSTE DE *Pinus taeda* L. **Revista Universidade Rural**. Série Ciências Exatas e da Terra (UFRRJ), v. 38, p. 2510/3-2515, 2008.

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, C. A. M.; SILVA, G. F.; XAVIER, A. C.; MEDONCA, A. R.; ALMEIDA, A. Q. Avaliação de modelos de afilamento não-segmentados na estimação da altura e volume comercial de *Eucalyptus* sp. **Ciência Florestal**, v. 18, p. 393-405, 2008.

YOSHITANI JUNIOR, M.; NAKAJIMA, N.; ARCE, J. E.; MACHADO, S. A.; DRUSZCZ, J. P.; HOSOKAWA, R. T.; MELLO, A. A. Funções de afilamento para plantios desbastados de *Pinus taeda*. **Floresta**, v. 42, n. 1, p. 169-176, 2012.