

08 a 11 de Outubro de 2018
Instituto Federal Fluminense
Búzios - RJ

ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS DO MODELO DE CLUTTER PARA POVOAMENTOS DE EUCALYPTUS

Leticia da Paschoa Manhães¹ – lpmanhaes.3@gmail.com
Wellington Betencurte da Silva¹ – wellingtonuff@yahoo.com.br
Gilson Fernandes da Silva¹ – fernandes5012@gmail.com
Julio Cesar Sampaio Dutra¹ – juliosdutra@yahoo.com.br

¹ Universidade Federal do Espírito Santo, Campus de Alegre - Alegre, ES, Brasil

Resumo. *O desenvolvimento de técnicas de modelagem para o crescimento e produção de povoamentos florestais como suporte ao planejamento e gerenciamento é de fundamental importância no setor florestal. Uma das maneiras de se realizar este tipo de modelagem é por meio de modelos em nível de povoamento, sendo o modelo de Clutter o mais difundido no Brasil, constituído por um sistema de equações de regressão. Entretanto, na busca de melhorias na acurácia e precisão das estimativas, métodos de otimização vem sendo utilizados, sendo o objetivo deste trabalho avaliar a eficiência e aplicabilidade usando um método de otimização para estimar os parâmetros do modelo de Clutter. Os dados são provenientes de plantios clonais eucalipto localizados na região Centro-oeste do estado de Minas Gerais. O modelo de Clutter foi ajustado pelo método de otimização para estimar os parâmetros, sendo avaliados por meio da raiz do quadrado médio do erro (RMSE (%)); BIAS (%) e por análise gráfica. Os resultados demonstram que utilizando o método de otimização para estimar os parâmetros, obtém-se resultados muito promissores para o ajuste do modelo.*

Palavras-chave: *Modelo de povoamento total; Eucalyptus; Modelos de Crescimento e produção, Estimação de Parâmetros.*

1. INTRODUÇÃO

Os plantios comerciais, principalmente o do gênero de *Eucalyptus*, vêm avançando cada vez mais em termos de áreas plantadas e produtividade, porém pouco no desenvolvimento de técnicas para predição e projeção do crescimento e da produção florestal. Com isso, o uso técnicas de modelagem do crescimento e produção como suporte para o planejamento e gerenciamento florestal é de fundamental importância.

A projeção de crescimento e produção florestal é essencial para definir a quantidade de produtos que a floresta produzirá em determinado período (Guimarães, 1994). Esta projeção

está inserida em um conceito mais amplo denominado de modelagem de crescimento e produção florestal, que trata do desenvolvimento e aplicações de técnicas e de modelos estatísticos que têm por intuito conhecer e prognosticar a dinâmica do crescimento dos povoamentos que compõem a floresta.

Os modelos de crescimento e produção podem ser classificados em: modelos de povoamento total, modelos de distribuição diamétrica e modelos de árvores individuais. Modelos de povoamento total são os mais simples, fornecendo informações referentes ao crescimento da floresta em unidade de área ($m^3 ha^{-1}$) (Davis et al., 2005). Os modelos de distribuição diamétrica são considerados intermediários, utilizando funções de densidade de probabilidade para predizer o número de árvores em cada classe de diâmetro em idades futuras (Husch; Beers; Kershaw, 2003). Por fim, os modelos de árvores individuais são os mais complexos, podendo considerar também a competição entre elas para determinar se cada uma permanecerá viva ou morrerá, seu crescimento em termos de diâmetro, altura e tamanho de copa (Davis et al., 2005).

No Brasil, os modelos de povoamento total são os mais empregados por empresas que possuem plantios de eucalipto destinados a produção de celulose e energia. Entre esses modelos um dos mais difundidos é o proposto por Clutter (1963). Neste modelo, constituído por um sistema de equações de regressão, a produção é expressa em função das idades atual e futura, do índice de local atual e futuro e das áreas basais atual e futura.

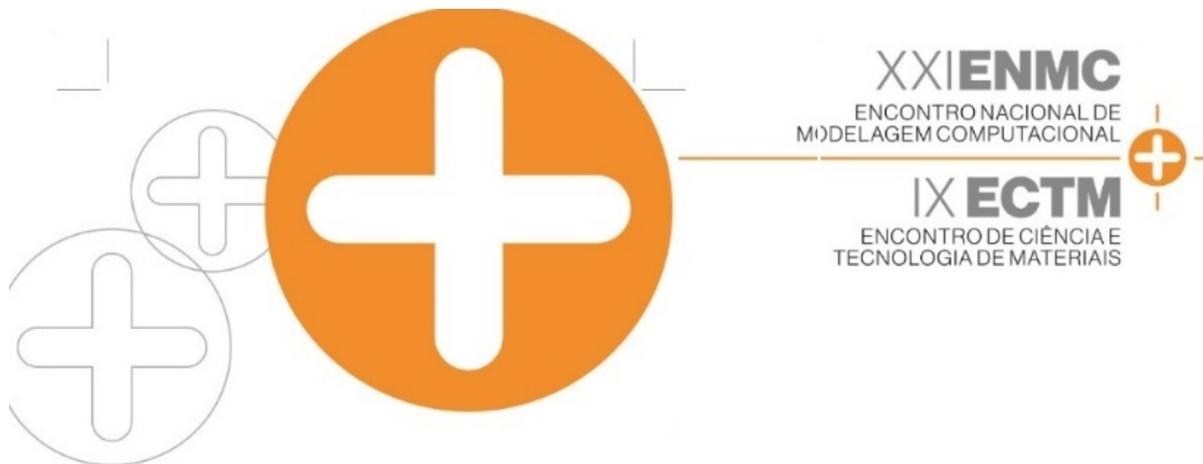
Entretanto, como alternativa à técnica de regressão, pesquisas têm buscado avaliar novos métodos de estimação, procurando proporcionar melhorias na precisão e acurácia das estimativas.

Neste sentido, com a necessidade de se obter informações mais acuradas do crescimento e produção florestal, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a eficiência e aplicabilidade de um método de otimização da estimação de parâmetros para o modelo de Clutter.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição dos dados

Os dados são de um povoamento não desbastado de clones de eucalipto, localizados na região centro-oeste do estado de Minas Gerais, Brasil, plantados no espaçamento 3 x 3 m. Os dados foram provenientes de 376 parcelas permanentes, sendo o número de parcelas distribuídas de acordo com o número de medições, por idade. As características médias das unidades amostrais utilizadas no presente trabalho são apresentadas na Tabela 1.



08 a 11 de Outubro de 2018
 Instituto Federal Fluminense
 Búzios - RJ

Tabela 1 – Estatísticas descritivas das 376 parcelas utilizadas neste estudo.

Idade	N	DAP			Ht			Hd			B		
		Min.	Méd.	Máx.									
24	223	5,0	10,3	16,0	6,4	12,8	21,6	4,3	8,6	14,7	8,5	13,5	21,0
36	307	5,0	13,5	19,4	8,8	18,5	26,3	8,8	14,4	20,7	12,7	19,4	26,0
48	366	5,0	15,3	22,6	9,9	22,1	31,4	12,0	18,7	25,1	18,0	23,5	31,0
60	376	5,0	16,4	25,5	10,7	24,6	35,0	15,0	21,5	27,7	19,9	26,1	32,6
72	299	5,0	17,3	26,5	11,6	26,3	38,6	16,6	23,9	30,5	19,9	28,0	35,4
84	126	5,4	18,3	28,1	13,1	28,1	38,8	18,2	26,5	33,3	21,7	29,8	37,9

Idade = classes de idade em meses; N = número de parcelas medidas na classe de idade; DAP = diâmetro a 1,3 de altura, em cm; Ht = altura total, em m; Hd = altura média das árvores dominantes, em m; B = área basal, em $m^2 ha^{-1}$; e Min., Méd. e Máx. = valores característicos mínimos, médios e máximos, respectivamente.

2.2 Modelo de Clutter

O problema direto a ser resolvido pode ser dado pela Eq. (1), a qual é conhecido como modelo de Clutter (1963), para representar o modelo de crescimento e produção do povoamento de clones de *Eucalyptussp.*.

$$\frac{\partial V / \partial I}{V} = -\beta_2 I^{-2} + \beta_3 \left[\frac{\partial B / \partial I}{B} \right] \quad (1)$$

$$\frac{\partial B}{\partial I} = BI^{-1} [\alpha_0 + \alpha_1 S - LnB]$$

Em que: B = área basal do povoamento ($m^2 ha^{-1}$); I = idade (meses/ tempo); S = índice de local; V = volume de madeira do povoamento ($m^3 ha^{-1}$); α_0 e α_1 = coeficientes do modelo de área basal; β_i = coeficientes do modelo volumétrico; Ln = logaritmo neperiano.

O modelo de Clutter é muito utilizado na engenharia florestal e, muitas vezes, como base de comparação com outros modelos ou métodos de projeção do crescimento e produção

(Soares et al., 1998; Soares et al., 2004; Dias et al., 2005; Santana et al., 2005; Soares; Leite e Gorgens, 2005; Gorgens et al., 2007; Demolinari et al., 2007; Cruz et al., 2008; Salles et al., 2012; Castro et al., 2013; Mendonça et al., 2014; Miranda et al., 2014; Nascimento et al., 2015; Castro et al., 2015; Roveda et al., 2016), o que o torna uma das grandes referências nos estudos de mensuração florestal.

2.3 Problema de estimação

O objetivo do de estimação ou problema inverso é prever, a partir de um efeito, a causa por trás de um fenômeno. Neste trabalho, foi utilizada a programação quadrática sequencial (conhecida como *SQP*), a qual é um dos métodos de otimização disponíveis na função *fmincon* do *MATLAB*.

A função objetivo, conforme a Equação 2, foi dada pela diferenças das medidas experimentais de volume e da área basal das árvores e com as soluções obtidas pelos modelos *modelosde Clutter*.

$$FOBJ(p) = \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N [Z_{exp,i}^j - Z_{sim,i}^j(p)]^2 \quad (2)$$

Na expressão da função *FOBJ*, o vetor *p* representa os parâmetros; *M* representa a quantidade de variáveis medidas, que neste caso *M=2*; $Z_{sim,i}^j(p)$ são os volumes e da área basal dada pelo modelo em cada tempo t_i , $Z_{exp,i}^j$ são as medidas experimentais do volume e da área basal no tempo t_i , e *N* o número total de medidas. Logo, a partir de uma estimativa inicial para a função objetivo, a minimização do *FOBJ* é almejada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo de *Clutter* foi resolvido de forma direta pelo *software MATLAB* e a ferramenta *ode23s*. Os valores encontrados na literatura para os parâmetros variaram em média: $\alpha_0= 2.90$ a 3.60; $\alpha_1= 0.01$ a 0.11; $\beta_0=1.37$ a 4.32; $\beta_1= -13.02$ a -138; $\beta_2= 0.006$ a 0.04; $\beta_3= 0.68$ a 1.27. Com estes dados foi realizada a estimação dos parâmetros, por meio do *software MATLAB* usando a função *fmincon*.

A avaliação dos métodos foi realizada por meio das estatísticas a seguir:

- BIAS (%) (Uzoh; Oliver, 2008):

$$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)}{n} \quad (3)$$

$$BIAS(\%) = \frac{BIAS}{\sum_{i=1}^n Y_i / n} \cdot 100$$

- Raiz do quadrado médio do erro (*RMSE%*) (Root Mean Square Error) (Islam et al., 2009; Zhao et al., 2013; Arias-Rodil et al., 2015):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}} \quad (4)$$

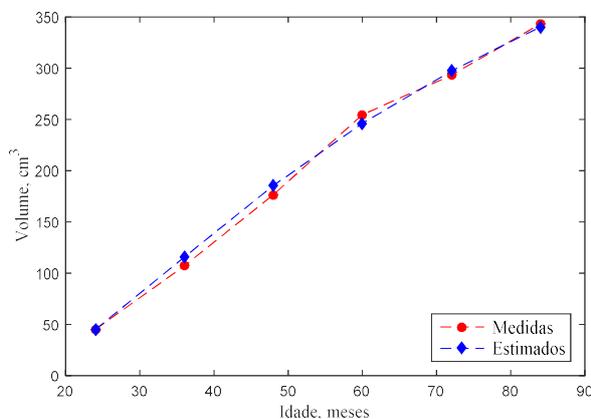
$$RMSE(\%) = \frac{RMSE}{\frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n}} \cdot 100$$

De forma a complementar a análise, serão elaborados gráficos relacionando os volumes e áreas basais observados com os volumes e áreas basais estimados pelas alternativas de ajuste. Com base nas estatísticas analisadas, observa-se que os parâmetros quando estimados pelo método de otimização, apresentaram melhores resultados (Tabela 2), quando comparadas aos dados da literatura.

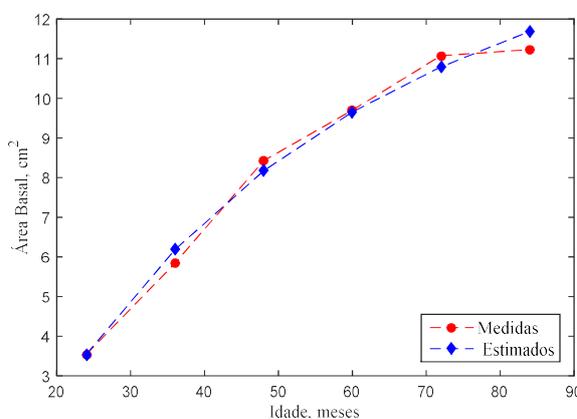
Tabela 2 - Resultados das estatísticas de precisão para os dois métodos de ajustes do modelo de Clutter.

Variável dependente	Dados	<i>RMSE (%)</i>	<i>BIAS (%)</i>
Volume	Literatura	141.08	57.59
	Presente trabalho	2.04	0.83
Área Basal	Literatura	35.09	14.33
	Presente trabalho	2.28	0.93

A partir das análises gráficas é possível observar a superioridade dos ajustes pela metodologia empregada (Fig.1), comparado aos dados encontrados na literatura para os parâmetros estimados (Fig.2), tanto para estimativas de volume quanto para estimativas de área basal, corroborando assim com os resultados das estatísticas *RMSE (%)* e *BIAS (%)*, apresentadas acima. Observa-se também que as informações apriori encontradas na literatura necessitam ser estimadas para cada caso, e seria interessante utilizar métodos estatísticos para analisar os desvios padrões de cada parâmetro estimado. A fim de fazer tirar conclusões mais seguras.



(A)



(B)

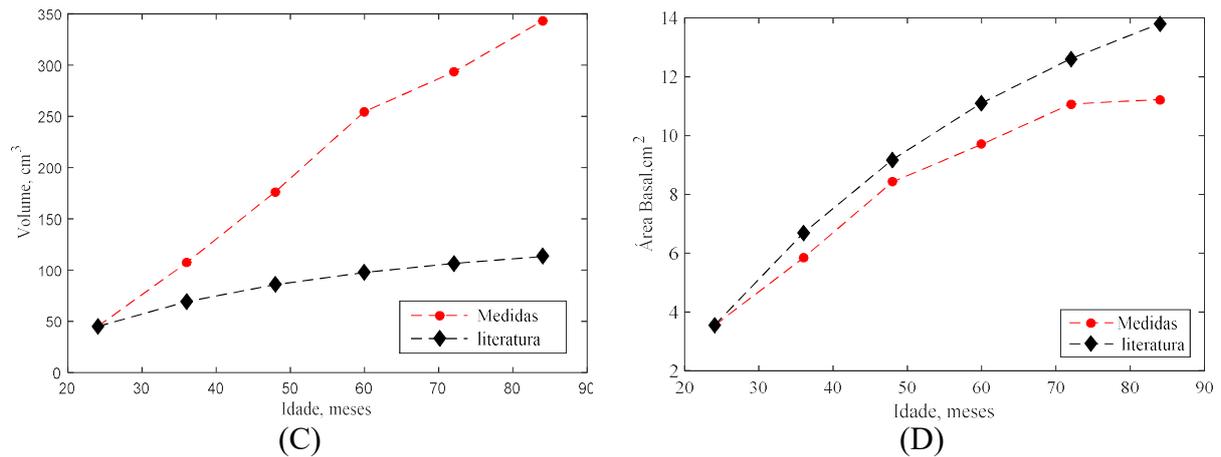


Figura 1 –(A) volume (m^3) estimado pelo método de otimização x mensurado; (B) área basal (cm^2) estimada pelo método de otimização x mensurado; (C) volume (m^3) estimado pelo método clássico x mensurado; (D) área basal (cm^2) estimada pelo método clássico x mensurado.

A estimação de parâmetros de modelos de regressão é um tema frequentemente discutido em livros mais gerais de estatística. Todavia, informações sobre estimação de parâmetros para modelos de regressão compostos por sistemas de equações ou modelos não lineares geralmente são encontradas em trabalhos mais específicos e dedicados ao tema. Logo, surge a importância de trabalhos que analisem essas estimativas dos parâmetros, como o presente trabalho.

4. CONCLUSÃO

Com base nas análises estatísticas e gráficas é possível concluir que o método de otimização para estimação dos parâmetros para o modelo de Clutter, foi eficiente e acurado para projeção de volume e área basal para *Eucalyptus*, uma vez que por meio do método clássico, dos mínimos quadrados em dois estágios, os parâmetros estimados podem cair em mínimos locais, podendo não ser o melhor resultado para o ajuste.

REFERÊNCIAS

- Castro, R. V. O.; Soares, C. P. B.; Martins, F. B.; Leite, H. G. Crescimento e produção de plantios comerciais de eucalipto estimados por duas categorias de modelos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 48, n. 3, p. 287-295, 2013.
- Castro, R. V. O.; Cunha, A. B.; Silva, L. V.; Leite, H. G.; Silva, A. A. L. Modelagem do crescimento e produção para um povoamento de *Eucalyptus* utilizando dois métodos para quantificação do índice de local. ScientiaForestalis. p. 83–90, 2015.
- Clutter, J. L. Compatible growth and yield models for loblolly pine. Forest Science, v. 9, n. 3, p. 354–371, 1963.
- Cruz, J. P. Da; Leite, H. G.; Soares, C. P. B.; Campos, J. C. C.; Smit, L.; Nogueira, G. S.; Oliveira, M. L. R. Modelos de crescimento e produção para plantios comerciais jovens de *Tectonagrandis* em Tangará da Serra, Mato Grosso. Revista Árvore, v. 32, n. 5, p. 821–828, 2008.
- Davis, L. S.; Johnson, K. N.; Bettinger, P.; Howard, T. E. Forest management: to sustain ecological, economic, and social values. 4. ed. Illinois: Waveland, 2005. 804 p
- Anais do XXI ENMC – Encontro Nacional de Modelagem Computacional e IX ECTM – Encontro de Ciências e Tecnologia de Materiais. Búzios, RJ – 08 a 11 Outubro 2018

- Demolinari, R. D. A.; Soares, C. P. B.; Leite, H. G.; Souza, A. L. De. Crescimento de plantios clonais de eucalipto não desbastados na região de Monte Dourado (PA). *Revista Árvore*, v. 31, n. 3, p. 503–512, 2007.
- Dias, A. N.; Leite, H. G.; Campos, J. C. C.; Couto, L.; Carvalho, A. F. De. Emprego de um modelo de crescimento e produção em povoamentos desbastados de eucalipto. *Revista Árvore*, v. 29, n. 5, p. 731–739, 2005.
- Gorgens, E. B.; Leite, H. G.; Nogueira, G. S.; Dias, A. N. Tendência de crescimento de povoamento de eucalipto após aplicação de desbaste. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 879-885, 2007.
- Guimarães, D. P. Desenvolvimento de um modelo de distribuição diamétrica de passo invariante para prognose e projeção da estrutura de povoamentos de eucalipto, 1994. 160 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.
- Husch, B.; Beers, T. W.; Kershaw, J. A. *Forest mensuration*. 4. Ed. New Jersey: John Wiley & Sons Inc, 2003. 443 p.
- 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 povoamento de eucalipto. *Cerne*, v. 20, n. 4, p. 587-594, 2014.
- Miranda, R. O. V.; Dias, A. N.; Filho, A. F.; Soares, I. D.; Cruz, J. P. Modelagem do crescimento e produção em classes de precipitação pluviométrica para *Eucalyptus* sp. *Floresta*, v. 45, n. 1, p. 117, 2014.
- Nascimento, F. A. F. Do; Dias, A. N.; Figueiredo Filho, A.; Miranda, G. D. M.; Arce, J. E. Sistema de crescimento e produção para povoamentos de *Pinus taedana* região norte de Santa Catarina. *Cerne*, v. 21, n. 2, p. 235–242, 2015.
- Roveda, M.; Dias, A. N.; Filho, A. F. Testes de identidade de modelos aplicados na construção de curvas de índices de local e na produção de povoamentos de *Eucalyptus grandis*. *ScientiaForestalis*, p. 115–127, 2016
- Salles, T. T.; Leite, H. G.; Oliveira Neto, S. N.; Soares, C. P. B.; Paiva, H. N. De.; Santos, F. L. Dos.. Modelo de Clutter na modelagem de crescimento e produção de eucalipto em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 47, n. 2, p. 253–260, 2012.
- 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 exMaiden sem desbaste baseado no modelo de clutter. *Ambiência*, Guarapuava, v. 1, n. 2, p. 239-256, 2005.
- Soares, C. P. B.; Leite, H. G.; Campos, J. C. C.; Sedyama, G. C. A inclusão da precipitação anual em um modelo de crescimento e produção. *Revista Árvore*, v. 22, n. 4, p. 475-482, 1998.
- Soares, C. P. B.; Leite, H. G.; Gorgens, E. B. Equações para estimar o estoque de carbono no fuste de árvores individuais e em plantios comerciais de eucalipto. *Revista Árvore*, Viçosa, MG, v. 29, n. 5, 2005.
- Soares, C. P. B.; Leite, H. G.; Oliveira, M. L. R. De; Carvalho, A. Especificação de um modelo de crescimento e produção florestal. *RevistaÁrvore*, v. 28, n. 6, p. 831-837, 2004

ESTIMATION OF PARAMETERS OF THE CLUTTER MODEL FOR EUCALYPTUS POVOAMENTS

Abstract. *The development of techniques for modeling the growth and production of forest stands as support for planning and management is fundamental in the forestry sector. One of the ways to perform this type of modeling is by means of stand-level models, with the Clutter model being the most widespread in Brazil. This is a system of regression equations. However, in the search for improvements in the accuracy and precision of the estimations, optimization methods have been used, and the objective of this work is to evaluate the efficiency and applicability using an optimization method to estimate the parameters of the Clutter model. The data come from clonal eucalyptus plantations located in the Center-West region of the Minas Gerais's state. The Clutter model was adjusted by the classical method and by the optimization's method to estimate the parameters, being evaluated by means of the root mean square of the error (RMSE (%)); BIAS (%) and graphical analysis. The results demonstrate that using the optimization's method to estimate the parameters, we obtain improvements in model fit when compared to the classical method.*

Key words: *Whole-stand level; Eucalyptus; Growth and yield models.*