

Aplicação de modelos de crescimento não lineares em leucena [*Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit]

Cícero Carlos Ramos de Brito – IFPE/ DEINFO/UFRPE¹
José Antonio Aleixo da Silva - DCFL/UFRPE;
Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira - DCFL/UFRPE;
Eufrázio de Souza Santos - DEINFO/UFRPE;
David Augusto Silva - DEINFO/UFRPE;
Gabriel Rivas de Melo - DEINFO/UFRPE.

Resumo: *O objetivo deste trabalho foi desenvolver novos modelos de crescimento para recursos florestais aplicados a Leucena [*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit], tendo como base as hipóteses biológicas propostas por Chapman-Richards e Silva-Bailey. O experimento de leucena foi conduzido na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária – IPA, no município de Caruaru – PE. Foram utilizadas 544 árvores de leucena em um experimento com medidas repetidas em que foram realizadas 20 mensurações ao longo do tempo.*

Palavras-chave: Modelagem matemática, regressão, leucena.

INTRODUÇÃO

A Leucena, *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, tem despertado grande interesse científico devido a sua grande versatilidade dentre as leguminosas de clima tropical. Essa espécie é a mais comum dentre as espécies do gênero *Leucaena*, sendo conhecida também como ipil-ipil e ipil-ipil gigante nas Filipinas, koa haole no Hawaí, auxin, yaje e guaje em parte da América Latina, lisina delen no Haiti e aroma branco ou esponjeira em Cuba. (VIEIRA, 1992).

Brewbaker (1985) afirma que o gênero *Leucaena* possui cerca de 51 espécies, das quais somente 13 são as mais estudadas. Todas as espécies têm potencial forrageiro, sendo *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, a mais explorada.

A leucena é considerada por muitos produtores da região semi-árida como sendo a “rainha” das leguminosas. Essa consideração se deve ao fato da leucena, além de apresentar boa produtividade, que pode variar, dependendo do ano, de dois até oito toneladas de matéria seca comestível e de até 750 Kg de sementes/ha/ano, possui também excelente qualidade nutricional, apresentando uma boa composição química e alta aceitabilidade pelos animais (CARVALHO et al., 2001).

Nos planejamentos de manejo de recursos florestais uma variável é de extrema importância: o crescimento. Sua modelagem é fundamental na prognose da produtividade, qualidade do local e dinâmica de populações.

Com o avanço dos procedimentos computacionais, técnicas matemáticas mais sofisticadas são utilizadas no desenvolvimento de novos modelos aplicados a estudos de crescimento, uma vez que, geralmente, as hipóteses básicas utilizadas geram modelos que alterando os valores de alguns coeficientes, de positivo para negativo, a(s) equação(ões) resultante(s) pode(m) ser empregada(s) em estudos acréscimos ou decréscimos: produção, crescimento e sobrevivência/mortalidade.

Segundo Scolforo (1994), o conhecimento do crescimento e da produção presente e futura de árvores em povoamentos florestais é elemento fundamental no manejo florestal sustentável, sendo necessário possuir

¹ Contato: ciceroCarlosbrito@yahoo.com.br

como uma das fontes de informações mais importante a existência de relações quantitativas e modelos matemáticos que sejam consistentes e, numericamente, compatíveis para a predição do desenvolvimento do povoamento em qualquer idade.

Tais modelos são sínteses de observações e/ou fenômenos biológicos, aplicadas nas condições sob as quais foram coletados os dados. Na Engenharia Florestal, os modelos são imprescindíveis na prognose dos futuros recursos florestais, na escolha de metodologias silviculturais e apoio à tomada de decisões no manejo e na política florestal (SPATHELF e NUTTO, 2000).

Dada a dinâmica com que os modelos matemáticos vêm sendo aplicados nas pesquisas biológicas, gerando novos modelos para situações gerais e específicas, novos estudos em ciências florestais são, altamente, justificáveis.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados de leucena foram provenientes de um experimento localizado na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária (IPA), no município de Caruaru, no Estado de Pernambuco, que possui as seguintes coordenadas geográficas: latitude 08°14'18''S; 38°00'00'' WGr. e altitude de 537 m, sendo enquadrada pela classificação climática de Thornthwaite no tipo Dd'a' (semi-árido megatérmico), sendo o solo caracterizado pela associação de Neossolo (EMBRAPA, 1999).

Foram utilizadas para este trabalho 544 árvores, sobreviventes das 576 árvores plantadas no início do experimento. A variável altura (H) foi medida em todos os indivíduos ao longo do tempo, durante 12 anos, sendo denominada como H1 a H20, indicando as 20 medidas. O tempo inicial considerado foi de 120 dias que correspondem à idade em que as mudas foram plantadas no campo.

Modelos utilizados

Neste trabalho, todos os modelos empregados foram derivados usando a metodologia das diferenças de equações proposta por Clutter e Jones (1980), com base nos modelos:

$$\text{Silva - Bailey } W_f = W_i \cdot e^{\beta \cdot (k^{t_f} - k^{t_i})} + \varepsilon_i \quad (1)$$

$$\text{Clutter e Jones } W_f = \left[W_i^0 + \beta_1 (t_f^K - t_i^K) \right]^{\frac{1}{\theta}} + \varepsilon_i \quad (2)$$

Modelo Brito-Silva

$$W_f = W_i \cdot \left(\frac{e^{\beta \cdot e^{-k \cdot t_f} + \theta \cdot e^{\lambda \cdot t_f}}}{e^{\beta \cdot e^{-k \cdot t_i} + \theta \cdot e^{\lambda \cdot t_i}}} \right) \quad (3)$$

Em que: W_f = altura ou comprimento final; W_i = altura ou comprimento inicial;

β , m , θ e K = parâmetros dos modelos; t_i e t_f = Tempo inicial e final das medições das alturas ou comprimento; ε_i = erro aleatório

Utilizou-se para os ajustes dos modelos não lineares intrinsecamente não lineares o procedimento NONLINEAR do Programa Computacional SYSTAT 05 for Windows (Demo) sendo utilizado o método Simplex para calcular as estimativas dos parâmetros.

Os critérios usados nas comparações das equações foram o Índice de Ajuste (I.A.) (SCHALAEGL, 1981) e a distribuição gráfica dos resíduos em %, (E_i) conforme se segue:

$$IA\% = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \cdot 100$$

Em que: IA% = Índice de Ajuste em percentagem; Y_i = Valor observado (real);

\hat{Y}_i = Valor estimado pela equação de regressão; \bar{Y} = Médias dos valores observados.

Para equações ajustadas pelo método dos mínimos quadrados, o índice de ajuste é igual ao coeficiente de determinação (R^2).

Como os modelos testados possuem diferentes números de parâmetros, utilizou-se o Índice de Ajuste Ajustado, expresso por:

$$IA_{aj} = IA - (1 - IA) \left(\frac{n-1}{n-p} \right)$$

Para equações ajustadas pelo método dos mínimos quadrados, o índice de ajuste é igual ao coeficiente de determinação (R^2).

Para o cálculo da análise da distribuição gráfica residual, os resíduos foram obtidos pela expressão:

$$E_i = \left(\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \right) \cdot 100$$

Sendo: E_i = resíduo da i-ésima observação; Y_i = Variável dependente observada;

\hat{Y}_i = Variável dependente estimada pela regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabelas a seguir, são apresentadas as estimativas dos parâmetros dos modelos testados obtidos através da modelagem de crescimento de leucena na Estação citada anteriormente juntamente com os Índices de Ajustes Ajustados.

Tabela – Modelos testados e os seus respectivos parâmetros estimados, através da modelagem de crescimento de leucena, no tratamento 1 e tratamento 2, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE e seus Índices de Ajuste.

Tratamentos	Modelo	Parâmetros				Índices
		\hat{K}	$\hat{\beta}$	$\hat{\theta}$	$\hat{\alpha}$	IA _{aj} (%)
Tratamento 1	Silva-Bailey	0,963046552	-1,400905270	X	X	98,030
	Clutter e Jones	-0,859050115	2,477980462	-0,540561330	X	97,954
	Brito-Silva	-0,214684238	-1,741263269	-1,213841698	-0,033812604	98,295
Tratamento 2	Silva-Bailey	0,964689536	0,294084585	X	X	97,685
	Clutter e Jones	0,000002403	0,477081E+06	1,016279492	X	97,765
	Brito-Silva	-0,030002353	-0,980339884	-2,249096848	-0,209695335	98,211

Da figura 1 até a figura 3, apresenta-se a Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, obtidas com o modelo citado em cada figura, para a estimativa do crescimento de leucena, no tratamento 1. Da figura 4 até a figura 6, apresenta-se a Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, obtidas com o modelo citado em cada figura, para a estimativa do crescimento de leucena, no tratamento 2.

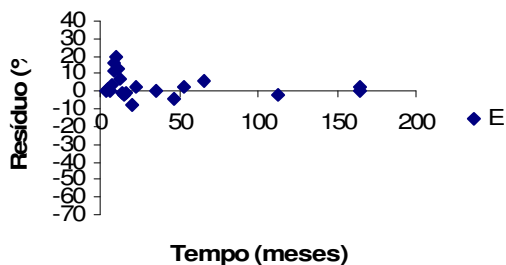


Figura 1 - modelo de Silva-Bailey

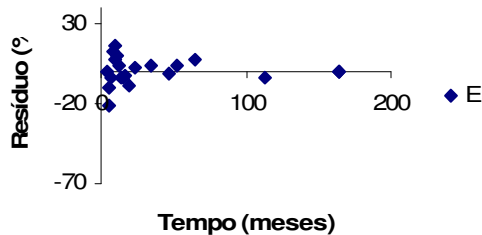


Figura 2- modelo de Clutter e Jones

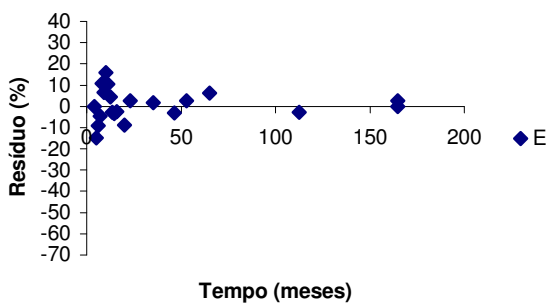


Figura 3 – modelo de Brito-Silva

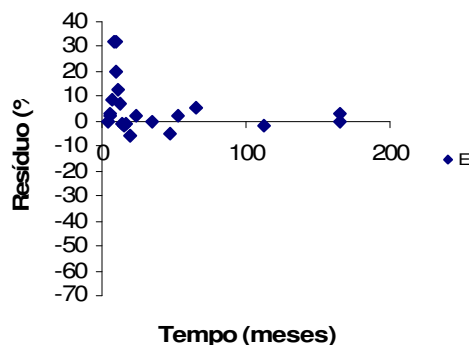


Figura 4 - modelo de Silva-Bailey

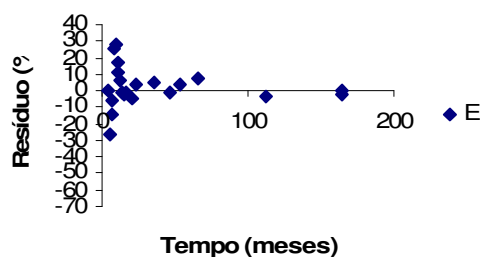


Figura 5 - modelo de Clutter e Jones

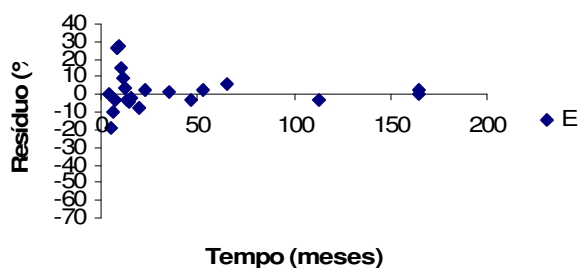


Figura 6 - Modelo Brito-Silva

Observa-se que todos os modelos resultaram em equações com altos valores dos Índices de Ajuste, sendo que a equação de Clutter e Jones apresentou o menor $I.A._{aj}$ no tratamento 1 e, a equação de Silva-Bailey apresentou o menor $I.A._{aj}$ no tratamento 2.

Pelo fato do tratamento 2 levar em consideração o efeito do composto orgânico, ocorreu maior variabilidade, resultando em valores de I.A. inferiores ao tratamento 1.

Na realidade, praticamente, não existem diferenças entre os modelos propostos e os usados como critérios comparativos. Entretanto, isto era de se esperar dado aos altos valores de I.A. encontrados para os modelos tradicionais, justificando seus freqüentes usos na literatura florestal.

O intuito de desenvolver novos modelos teve como principio a aplicabilidade da modelagem matemática em áreas biológicas, uma vez que as diferentes situações encontradas, podem gerar novas

hipóteses biológicas e conseqüentemente novos modelos. E isto é um dos objetivos da Biometria, que fundamentalmente, é uma zona de transição (interseção) entre a matemática / estatística e a biologia.

Análise da distribuição gráfica residual dos modelos testados

Analisando as curvas e distribuições citadas acima, tem-se a confirmação de que os modelos apresentados são em geral bons para a estimação do crescimento em altura para a leucena, sendo ainda perceptível, graficamente que o modelo de Bertalanffy tem apresentado resultados inferiores, pois considera o parâmetro m fixo, isto é igual a $2/3$.

CONCLUSÕES

Fazendo a análise de regressão dos modelos, através do Índice de Ajuste distribuição residual, pode-se observar que os modelos propostos e alguns comumente utilizados em recursos florestais se assemelham nas estimativas de crescimento da leucena.

Percebe-se que os modelos utilizados para leucena apresentaram uma pequena diminuição no segundo tratamento em relação ao primeiro tratamento, com exceção do terceiro modelo proposto, o que comprova resultados anteriores que indicaram o efeito do composto orgânico.

Comparando os modelos acima, constatou-se que o modelo de Brito-Silva, obteve os seus resultados semelhantes aos demais, entretanto, mostra que o estudo de modelagem é dinâmico e nunca se pode admitir que o que já existe é suficiente, principalmente, quando se considera outros campos nas ciências biológicas, que podem gerar novos modelos baseados em hipóteses biológicas específicas para cada ramo de pesquisa.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] BREWBAKER, J. L. Revisions in the systematics of the genus *Leucaena*. **Leucaena Research Reports**, Taipei, v. 6, p. 78-80, 1985.
- [2] BRITO, C. C. R. Novos modelos de crescimento resultantes da combinação e da variações dos modelos de Chapman-Richard e Silva-Bailley aplicados em leucena [*Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit e tubarão-junteiro (*Carcharhinus porosus*). 2005. 138f. Dissertação. Universidade Federal Rural de Pernambuco, PE, Brasil.
- [3] CARVALHO, M. M.; ALVIM, M. J.; CARNEIRO, J. C. **Sistema agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais**. Brasília: EMBRAPA, 2001. 413 p.
- [4] EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 1999. 421 p.
- [5] SCOLFORO, J. R. **Modelos para expressar o crescimento e a produção florestal: Parte 1**. Lavras: ESAL / FAEPE, 1994. 182 p.
- [6] SPATHELF, P.; NUTTO, L. **Modelagem aplicada ao crescimento florestal**. Santa Maria: [s.n], 2000. 70 p.
- [7] VIEIRA, M. E. Q. **O feno de leucena *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit., como ingrediente não ortodoxo de rações para frangos de corte**. 1992. 30f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, PE, Brasil.