

RONALDO CÉZAR BOMFIM SANTOS JÚNIOR

MODELAGEM MATEMÁTICA NA ESTIMATIVA DE
CRESCIMENTO EM ALTURA DE LEUCENA (*Leucaena
leucocephala* (Lam.) de Wit.), NO AGRESTE DE
PERNAMBUCO

RECIFE

Pernambuco - Brasil

Fevereiro - 2005

RONALDO CÉZAR BOMFIM SANTOS JÚNIOR

**MODELAGEM MATEMÁTICA NA ESTIMATIVA DE
CRESCIMENTO EM ALTURA DE LEUCENA (*Leucaena
leucocephala* (Lam.) de Wit.), NO AGRESTE DE
PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal Rural de
Pernambuco, para obtenção do
título de Mestre em Ciência
Florestal, Área de Concentração:
Manejo Florestal.

Orientador: Profº. Drº. **JOSÉ ANTÔNIO ALEIXO DA SILVA**

Co-orientador: Profº. Drº. **RINALDO LUIZ CARACIOLO FERREIRA**

Co-orientador: Profº. Drº. **EUFRÁZIO DE SOUZA SANTOS**

RECIFE

Pernambuco - Brasil

Fevereiro – 2005

Ficha catalográfica
Setor de Processos Técnicos da Biblioteca Central – UFRPE

S237m Santos Júnior, Ronaldo César Bomfim
Modelagem matemática na estimativa de crescimento em altura de leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.), no Agreste de Pernambuco / Ronaldo César Bomfim Santos Júnior. – 2005.
95 f. : il.

Orientador: José Antônio Aleixo da Silva
Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) –
Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de Ciência Florestal.
Inclui referência e anexo.

CDD 634.95

1. Manejo
2. Floresta
3. Crescimento
4. Modelagem
5. Leucena
6. *Leucaena leucocephala*
7. Estatística aplicada à ciência florestal
- I. Silva, José Antônio Aleixo da
- II. Título

As duas mulheres da minha
vida, minha mãe D. Cida e ao meu
grande amor "Lindinha".

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao meu bom Deus, por estar sempre presente nos momentos de dificuldades.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco, em especial ao Departamento de Ciência Florestal, por ter dado todas as condições necessárias para o curso oferecido.

Ao Professor Dr. José Antônio Aleixo da Silva, pela dedicação, ensinamentos, confiança, amizade e paciência sempre concedida.

Ao Professor Dr. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira, por toda ajuda possível e impossível, pela grande amizade concedida durante todo o curso.

A Coordenação do Programa de Pós – Graduação em Ciências Florestais, por ter dado toda as condições necessárias para o desenvolvimento do curso.

A CAPES pela bolsa concedida.

A todos os Professores do Programa de Pós – Graduação em Ciências Florestais que diretamente ou indiretamente contribuíram para o meu sucesso.

A minha família, em especial, a minha mãe, pois, sem eles não teria conseguido vencer mais esta batalha.

A Lindinha, meu grande amor, por toda paciência, carinho e amor dedicado durante todo o tempo em que estive longe, Te Amo.

SANTOS JÚNIOR, RONALDO CÉZAR BOMFIM SANTOS, Modelagem matemática na estimativa de crescimento em altura de leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.), no Agreste de Pernambuco. 2005. Orientador: Prof^o. Dr. José Antônio Aleixo da Silva. Co-Orientadores: Prof^o. Dr. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira, Prof^o. Dr^o. Eufrázio de Souza Santos.

RESUMO

O principal objetivo deste trabalho foi selecionar o melhor modelo matemático no ajuste das estimativas de crescimento em altura de leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.), no agreste de Pernambuco. O experimento foi conduzido na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária – IPA, no município de Caruaru – PE. Foram utilizadas 544 árvores de leucena, da variedade Hawaii (cv. K8), divididas em 24 tratamentos com 24 repetições. As fontes de variações estudadas foram: níveis de adubação fosfatada, composto orgânico de resíduo urbano e inoculação de rizóbio (NFB 466 e 473) aplicadas isoladamente. Foram realizadas 20 mensurações e testados os modelos matemáticos de crescimento em altura de Chapman-Richards, Bertalanffy, Monomolecular, Logístico, Brody, Johnson e Silva-Bailey. Para a seleção das equações matemáticas, utilizaram-se o índice de ajuste, o erro padrão da estimativa e a distribuição gráfica dos resíduos, todos em percentagem. Os melhores resultados foram obtidos com os modelos de crescimento de Brody e Silva-Bailey. Após a análise de variância, conclui-se que, apesar da superioridade dos modelos acima citados, não foram encontradas diferenças significativas, sugerindo que a utilização de qualquer um deles é viável para se estimar o crescimento em altura da leucena.

SANTOS JÚNIOR, RONALDO CÉZAR BOMFIM SANTOS, Mathematical modelling in the growth estimate of leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) of Wit.), in the Agreste of Pernambuco. 2005. Adviser: Prof^o. Dr. José Antônio Aleixo da Silva. Co-Adviser: Prof^o. Dr. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira, Prof^o. Dr^o. Eufrázio de Souza Santos.

ABSTRACT

The main objective of this work was to select mathematical models to estimate the growth of leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) of Wit.), in the Agreste of Pernambuco. The experiment was carried out in the Experimental Station of the Institute of Agricultural Research – IPA, Caruaru-PE. It was used 544 tree of leucena from variety Hawaii (cv. K8), divided in 24 treatments, with the 24 replications. The parameters considered were: levels of phosphate fertilizer, composed organic of urban residue and Rhizobium inoculation (BNF 466 and 473) applied separately. Twenty measures were accomplished along the time and tested the mathematical models of growth in height of Chapman-Richards, Bertalanffy, Monomolecular, Logístico, Brody, Johnson and Silva-Bailey. For the selection of the mathematical equations the index of fit, the standard error of estimate and the graphic distribution of residue, all in percentage, were used. The best-obtained results for this work were from the models of Brody and Silva-Bailey. According the analysis of the variance there was not significant difference among all the models. Therefore, either one of the tested models could be used to estimate the leucena growth used.

LISTA DE FIGURAS

| Figura | | Página |
|--------|---|--------|
| 1 | Curvas de crescimento real e estimadas pelos modelos de Brody e Silva-Bailey, para a leucena, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE | 42 |
| 2 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa do crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Chapman-Richards para o tratamento 111 | 48 |
| 3 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa do crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Bertalanffy para o tratamento 111 | 48 |
| 4 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa do crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Monomolecular para o tratamento 111 | 49 |
| 5 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa do crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Logístico para o tratamento 111 | 49 |
| 6 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa do crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 111 | 50 |
| 7 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa do crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Johnson para o tratamento 111 | 50 |
| 8 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa do crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 111 | 51 |

LISTA DE TABELAS

| Tabela | | Página |
|--------|---|--------|
| 1 | Discriminação dos fatores e níveis de adubação no experimento com <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit., Caruaru-PE..... | 33 |
| 2 | Composição química dos tratamentos aplicados em <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit., Caruaru-PE..... | 34 |
| 3 | Datas das medições realizadas no experimento com <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit., Caruaru-PE. | 36 |
| 4 | Modelos testados e os seus respectivos índices e parâmetros estimados, através da modelagem de crescimento de leucena, nos tratamentos considerados, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE..... | 43 |
| 5 | Análise da variância para os modelos de crescimento testados. | 51 |

LISTA DE APÊNDICE

| Figuras | | Página |
|---------|--|--------|
| 9 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 112..... | 61 |
| 10 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 112..... | 61 |
| 11 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 113..... | 62 |
| 12 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 113..... | 62 |
| 13 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 121..... | 63 |
| 14 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 121..... | 63 |
| 15 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 122..... | 64 |
| 16 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 122..... | 64 |
| 17 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 123..... | 65 |

| | | |
|----|--|----|
| 18 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 123..... | 65 |
| 19 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 131..... | 66 |
| 20 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 131..... | 66 |
| 21 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 132..... | 67 |
| 22 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 132..... | 67 |
| 23 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 133..... | 68 |
| 24 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 133..... | 68 |
| 25 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 141..... | 69 |
| 26 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 141..... | 69 |
| 27 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 142..... | 70 |

| | | |
|----|--|----|
| 28 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 142..... | 70 |
| 29 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 143..... | 71 |
| 30 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 143..... | 71 |
| 31 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 211..... | 72 |
| 32 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 211..... | 72 |
| 33 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 212..... | 73 |
| 34 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 212..... | 73 |
| 35 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 213..... | 74 |
| 36 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 213..... | 74 |
| 37 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 221..... | 75 |

| | | |
|----|--|----|
| 38 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 221..... | 75 |
| 39 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 222..... | 76 |
| 40 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 222..... | 76 |
| 41 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 223..... | 77 |
| 42 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 223..... | 77 |
| 43 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 231..... | 78 |
| 44 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 231..... | 78 |
| 45 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 232..... | 79 |
| 46 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 232..... | 79 |
| 47 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 233..... | 80 |

| | | |
|----|--|----|
| 48 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 233..... | 80 |
| 49 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 241..... | 81 |
| 50 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 241..... | 81 |
| 51 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 242..... | 82 |
| 52 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 242..... | 82 |
| 53 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 243..... | 83 |
| 54 | Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 243..... | 83 |
| 55 | Curvas de crescimento real, e estimadas pelos modelos de Brody e Silva-Bailey, para a leucena, no tratamento 112, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE..... | 84 |
| 56 | Curvas de crescimento real, e estimadas pelos modelos de Brody e Silva-Bailey, para a leucena, no tratamento 113, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE..... | 84 |

| | | |
|----|--|----|
| 57 | Curvas de crescimento real, e estimadas pelos modelos de Brody e Silva-Bailey, para a leucena, no tratamento 121, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE..... | 85 |
| 58 | Curvas de crescimento real, e estimadas pelos modelos de Brody e Silva-Bailey, para a leucena, no tratamento 122, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE..... | 85 |
| 59 | Curvas de crescimento real, e estimadas pelos modelos de Brody e Silva-Bailey, para a leucena, no tratamento 123, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE..... | 86 |
| 60 | Curvas de crescimento real, e estimadas pelos modelos de Brody e Silva-Bailey, para a leucena, no tratamento 131, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE..... | 86 |
| 61 | Curvas de crescimento real, e estimadas pelos modelos de Brody e Silva-Bailey, para a leucena, no tratamento 132, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE..... | 87 |
| 62 | Curvas de crescimento real, e estimadas pelos modelos de Brody e Silva-Bailey, para a leucena, no tratamento 133, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE..... | 87 |
| 63 | Curvas de crescimento real, e estimadas pelos modelos de Brody e Silva-Bailey, para a leucena, no tratamento 141, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE..... | 88 |
| 64 | Curvas de crescimento real, e estimadas pelos modelos de Brody e Silva-Bailey, para a leucena, no tratamento 142, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE..... | 88 |

| | | |
|----|--|----|
| 65 | Curvas de crescimento real, e estimadas pelos modelos de Brody e Silva-Bailey, para a leucena, no tratamento 143, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE..... | 89 |
| 66 | Curvas de crescimento real, e estimadas pelos modelos de Brody e Silva-Bailey, para a leucena, no tratamento 211, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE..... | 89 |
| 67 | Curvas de crescimento real, e estimadas pelos modelos de Brody e Silva-Bailey, para a leucena, no tratamento 212, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE..... | 90 |
| 68 | Curvas de crescimento real, e estimadas pelos modelos de Brody e Silva-Bailey, para a leucena, no tratamento 213, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE..... | 90 |
| 69 | Curvas de crescimento real, e estimadas pelos modelos de Brody e Silva-Bailey, para a leucena, no tratamento 221, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE..... | 91 |
| 70 | Curvas de crescimento real, e estimadas pelos modelos de Brody e Silva-Bailey, para a leucena, no tratamento 222, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE..... | 91 |
| 71 | Curvas de crescimento real, e estimadas pelos modelos de Brody e Silva-Bailey, para a leucena, no tratamento 223, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE..... | 92 |
| 72 | Curvas de crescimento real, e estimadas pelos modelos de Brody e Silva-Bailey, para a leucena, no tratamento 231, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE..... | 92 |

| | | |
|----|--|----|
| 73 | Curvas de crescimento real, e estimadas pelos modelos de Brody e Silva-Bailey, para a leucena, no tratamento 232, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE..... | 93 |
| 74 | Curvas de crescimento real, e estimadas pelos modelos de Brody e Silva-Bailey, para a leucena, no tratamento 233, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE..... | 93 |
| 75 | Curvas de crescimento real, e estimadas pelos modelos de Brody e Silva-Bailey, para a leucena, no tratamento 241, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE..... | 94 |
| 76 | Curvas de crescimento real, e estimadas pelos modelos de Brody e Silva-Bailey, para a leucena, no tratamento 242, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE..... | 94 |
| 77 | Curvas de crescimento real, e estimadas pelos modelos de Brody e Silva-Bailey, para a leucena, no tratamento 243, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE..... | 95 |

SUMÁRIO

| | Página |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 19 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA..... | 21 |
| 2.1 <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit..... | 21 |
| 2.2 Conceito sobre crescimento..... | 23 |
| 2.3 Modelagem..... | 24 |
| 2.4 Classificação geral dos modelos..... | 25 |
| 2.4.1 Modelos biológicos..... | 26 |
| 2.5 Critérios para a seleção das equações de crescimento..... | 30 |
| 2.6.1 Coeficiente de determinação e Índice de ajuste..... | 31 |
| 2.6.2 Erro padrão da estimativa..... | 31 |
| 2.6.3 Distribuição gráfica residual..... | 31 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS..... | 33 |
| 3.1 Caracterização do experimento..... | 33 |
| 3.2 Determinação dos modelos de crescimento..... | 35 |
| 3.3 Critérios para a seleção das equações de crescimento..... | 37 |
| 3.4 Modelos utilizados para a modelagem de crescimento..... | 38 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 40 |
| 4.1 Estimativas dos parâmetros das equações não lineares..... | 40 |
| 4.2 Análise da distribuição gráfica residual dos modelos testados..... | 47 |
| 4.3 Análise da variância para os modelos testados..... | 51 |
| 5 CONCLUSÕES..... | 52 |
| REFERÊNCIAS..... | 53 |
| APÊNDICE..... | 60 |

1. INTRODUÇÃO

A leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.) é uma leguminosa, perene, arbórea, originária da América Central e, atualmente, plantada em toda região tropical devido as suas múltiplas formas de utilização (forragem, produção de madeira, carvão vegetal, melhoramento do solo, sombreamento, quebra-vento e cerca - viva) (COSTA et. al., 2003).

A leucena se desenvolve numa faixa de precipitação entre 600 e 3000 mm, prefere insolação direta perdendo as folhas quando sombreadas. A leucena não se desenvolve bem em solos ácidos com altos teores de alumínio e deficientes em cálcio, magnésio, molibdênio e zinco (COSTA et. al., 2003).

Entretanto, têm merecido grande destaque por suas características de produção e resistência à seca (NATIONAL ACADEMIC OF SCIENCE, 1984; SOUZA, 1991).

No Agreste de Pernambuco, devido a grande necessidade de se buscar alternativas para a região com a finalidade de minimizar os problemas socioeconômicos da população através da comercialização de produtos advindos da leucena (carvão vegetal, estaca), alimentação animal (forragem). Além disso, o fato de não se ter conhecimento científico sobre o desenvolvimento da espécie nas condições específicas da região, de clima e de solo, são necessárias pesquisas sobre fatores fisiológicos (crescimento) bem como a sua interação com o meio ambiente (sítio), resultando num prognóstico de produção viável.

Segundo Causton e Vênus (1981), o crescimento pode ser definido como um aumento irreversível no tamanho de um organismo ou qualquer de suas partes. Uma maneira lógica de expressar o crescimento ou incremento e a produção florestal é através de modelos, sendo que esses podem ser caracterizados por gráficos, tabelas, gráficos e tabelas, uma equação ou um conjunto de equações, ainda conjunto de submodelos cada qual com uma ou mais equações (SCOLFORO, 1994).

Segundo Scolforo (1994), o conhecimento do crescimento e da produção presente e futura de árvores em povoamentos florestais são elementos fundamentais no planejamento da produção, sendo necessário para o manejo

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

A teoria da modelagem segundo Burkhart (1987), continua envolvente e aumentando em sofisticação a medida em que novas técnicas de estatísticas e avanços na área da computação vêm sendo incorporadas aos problemas de crescimento e produção.

Nesse contexto, é de grande importância a utilização de sistemas de predição do crescimento e da produção. Dentre as possibilidades para modelar o crescimento e a produção dos povoamentos florestais podem-se destacar os modelos descritivos ou biométricos e os modelos com base em processos. As duas linhas de abordagem são complementares, e não conflitivas (KIMMINS et al., 1999).

Enquanto os modelos por processos ou mecanicistas têm maior capacidade generalista, possuindo tendência intrínseca de grande potência de inferência, mesmo para situações não pontualmente amostradas, os modelos descritivos reproduzem muito bem a situações do mundo real, mas estritamente dentro da base de dados considerada na sua formulação (BURKHART, 1999). Estes modelos podem ser classificados em modelos para o povoamento, modelos por classe diamétrica e modelos de árvores individuais.

O principal objetivo deste estudo foi selecionar o melhor modelo matemático para obter a melhor estimativa de crescimento em altura de leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.), no Agreste de Pernambuco.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.)

A *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit., também conhecida por leucena ou esponjeira, tem despertado grande interesse científico devido a sua grande versatilidade dentre as leguminosas de clima tropical. Leucena é a mais comum dentre as espécies de planta do gênero *Leucaena* (VIEIRA, 1992).

Salermo e Seiffert (1986) apresentaram o gênero *Leucaena* como pertencente à família *Leguminosae*, subfamília *Mimosoidae* e tribo *Euminosae*.

Embora não se saiba precisar o local de sua origem, supõe-se que seu mais antigo centro de dispersão tenha sido a península de Yucatan, no México, onde se encontrava, naturalmente, dispersa na costa do Oceano Pacífico, mais amplamente, na faixa compreendida entre o Peru e o Texas (NITROGEN FIXING TREE ASSOCIATION, 1985; ALCÂNTARA, 1993). Atualmente, pode ser encontrada em quase todas as regiões tropicais, onde se estima que existam cerca de dois milhões de hectares cultivados (NITROGEN FIXING TREE ASSOCIATION, 1985; BREWBAKER, 1989).

A leucena apresenta folhas bipinadas, de 15 a 20 cm de comprimento, ráquis pubescentes, tendo de 4 a 10 pares de pinas, de 5 a 10 cm de comprimento, cada pina pode apresentar de 5 a 20 pares de folíolos oblongo-lineares, agudos e inequiláteros, de 7 a 15 mm de comprimento por 3 a 4 mm de largura (SANTOS, 1991).

As flores são brancas e numerosas, possuindo cada uma 5 sépalas, 5 pétalas e 10 estames, formando inflorescências arredondadas, e chegam a medir de 2 a 2,5 cm de diâmetro. De uma maneira geral é de autopolinização, o que resulta em cachos de vagens.

As vagens são finas, achatadas, em formas de tiras, acuminadas, medindo de 1,4 a 2,0 cm de largura, geralmente agrupadas em 15 a 60 vagens, cada uma com 15 a 25 sementes, as quais possuem formas elípticas, e com aproximadamente 2 mm de espessura. As sementes possuem ainda, uma película cerosa e resistentes, que impede a sua germinação imediata, mesmo em solos úmidos e férteis (SANTOS, 1991).

Seiffert e Thiago (1983), afirmam que a leucena é uma leguminosa perene, arbórea e com sistema radicular profundo, que lhe permite a obtenção de umidade das camadas mais profundas do solo, mantendo-a verde durante as estações secas, só perdendo os folíolos em secas prolongadas ou em geadas muito fortes.

Segundo Skerman (1977); Bêde et. al. (1985) e Salermo e Seiffert (1986), a leucena é adequada para o cultivo em áreas com precipitação pluviométrica entre 600 mm e 1700 mm, embora na Indonésia ela venha sendo cultivada ao longo dos anos sob precipitação superior a 3900 mm anuais. Em áreas com precipitação pluviométrica média anual de apenas 250 mm, a leucena pode se apresentar como a espécie dominante (FRANCO E SOUTO, 1986). Apesar de sua resistência à estiagem, em período de seca prolongado ela pode perder suas folhas (SKERMAN, 1977). Para Seiffert (1988), o melhor crescimento da leucena, é obtido em áreas onde chove de 600 a 1.700 mm / ano, sendo uma espécie que suporta grandes diferenças de regimes de precipitação, luminosidade, salinidade do solo, fogo, geada leve, e épocas curtas de estiagem.

Segundo Brewbaker (1978), raramente a leucena é encontrada em altitudes acima de 2.000 m. No Hawaii, se desenvolve bem a uma altitude de 150 m em regiões chuvosas, e até 300 m nos locais mais secos (VILELA E PEDREIRA, 1976). Na Indonésia, encontram-se populações entre 500 m e 1.200m de altitude (OAKES, 1968). No Ceilão florescem em altitudes de até 1.200 m, e apresentam um desenvolvimento insatisfatório em altitudes acima de 1.300 m.

A temperatura média anual ideal para o seu cultivo gira em torno de 22° e 30° C, abaixo deste intervalo ela apresenta rendimento insatisfatório (GARCIA, 1986), em temperaturas inferiores a 15,5° C, a planta paralisa seu crescimento.

Em solos ácidos, latossolos, com alto teor de alumínio, deficiência de cálcio, molibdênio e zinco, a leucena não se desenvolve, e permanece arbustiva, sendo nesse caso, necessário a aplicação de calcário e fosfato (SEIFFERT E THIAGO, 1983; SEIFFERT, 1988).

Em relação ao pH, Salermo e Seiffert (1986) afirmam que a leucena cresce melhor em solos com pH próximo ao neutro, e que a nodulação e o

crescimento são afetados quando o pH se situa abaixo de 5,5. Segundo Hutton (1984), a leucena é uma leguminosa bastante exigente em relação à adubação com fósforo, molibdênio e zinco, em solos tropicais, o que a torna, na presença destes elementos, uma planta de raízes profundas.

Na atualidade, grande parte dos pecuaristas tem se preocupado com o alto custo dos alimentos concentrados, o que faz gerar um grande interesse por fontes alternativas de alimentação. Dentre estas fontes, destaca-se o uso de leguminosas, não só para alimentação humana e animal, como também para reflorestamento e adubação verde, uma vez que esta alternativa vem minimizar o uso de adubo nitrogenado, que pode ser substituído pela fixação biológica do nitrogênio (SOUZA, 2003).

Segundo Hill (1971) a leucena apresenta alto teor de proteína bruta, o que ressalta sua importância como forrageira, possuindo uma excelente palatabilidade e alto valor nutricional, sendo apresentada como fonte potencial de alimento para o gado.

O valor dessa leguminosa não está apenas no complemento alimentar, mas também no seu grande número de variedades com diferentes tamanhos e hábitos de crescimento, o que proporciona uma ampla diversificação de usos. Dentre eles, podemos citar: produção de madeira para lenha (MENDES, 1985; FREITAS et al., 1991); construção civil, postes, dormentes, carvão, mourões (CUNHA, 1979); popa, celulose, tabuas, taco, parquet, chapa de partículas (NITROGEN FIXING TREE ASSOCIATION, 1985; BREWBAKER, 1989); produção de forragem para animais (KLUTHCOUSKI, 1982); sombreamento de culturas, quebra-vento, proteção contra o fogo (NITROGEN FIXING TREE ASSOCIATION, 1985; FREITAS et al., 1991).

2.2. Conceito sobre crescimento

É comum encontrarmos na literatura pertinente a crescimento e produção, muito conceitos que assemelham entre si. Para Husch et al. (1982) o crescimento de uma árvore ou de um povoamento é o mais importante fenômeno na floresta, consistindo no alongamento e engrossamento das

raízes, troncos e galhos, causando mudanças na árvore, influenciando o seu peso, volume e forma.

A palavra crescimento recorre a um aspecto de mudanças em um sistema orgânico que representa em um aumento em tamanho, e que pode ser medido em comprimento, diâmetro ou peso (MACHADO, 1978 citando PRODAN, 1968).

O crescimento linear de todas as partes de uma árvore é resultante das atividades do meristema primário, enquanto o crescimento radial é resultante das atividades do meristema secundário ou câmbio, os quais produzem uma nova camada de tecidos entre a madeira e a casca antiga (HISCH et al., 1982).

O crescimento é influenciado pela capacidade genética das espécies e interação com o ambiente. As influências do ambiente incluem fatores climáticos (temperatura, precipitação, vento e insolação); fatores edáficos (características físicas, químicas e microorganismo); características topográficas (declividade, elevação, aspecto) e competição (influência de outras árvores, vegetação rasteira e animais) (OLIVEIRA, 1995).

As medidas de crescimento em uma floresta mais comumente utilizadas são : altura total e comercial, diâmetro à altura do peito e diâmetro em vários pontos do fuste (OLIVEIRA, 1995).

2.3. Modelagem

As técnicas para prognosticar a dinâmica de um povoamento florestal são conhecidas como modelos de crescimento e produção (AVERY E BURKHART, 1994). A predição da produção futura de madeira é de fundamental importância para o planejamento das atividades florestais, constituindo um dos principais elementos do manejo florestal (DAVIS E JOHNSON, 1987).

Segundo Avery e Burkhart (1994), os modelos de crescimento e produção são técnicas usadas para prognosticar a dinâmica de um povoamento e, independente, da complexidade estrutural que possam apresentar, todos os modelos de crescimento e produção têm um propósito em comum que é o de apresentar estimativas das características do povoamento

de um ponto específico no tempo, sendo imprescindível para o planejamento e administração sensata de uma área florestal a curto, médio e longo prazo.

A modelagem do crescimento e da produção florestal é um tema envolvente e busca prognosticar a produção volumétrica, em área basal, ou em peso em função de uma série de variáveis possíveis de serem quantificadas no povoamento florestal (SCOLFORO, 1998).

A diferença principal entre um modelo empírico e modelo de crescimento biológico é que o termo anterior recorre a uma expressão matemática de uma relação entre variáveis que podem ser esperadas logicamente enquanto um modelo biológico é uma expressão de uma hipótese lógica relativo à biologia do processo de crescimento (MACHADO, 1978 citando PIENAAR, 1965).

Segundo Spurr (1952), os estudos de crescimento e produção de florestas iniciaram na Europa, no final do século XVIII. Dessa época até os dias atuais, muitos trabalhos foram desenvolvidos.

De acordo com Scolforo (1990) e Sanquetta et al. (1995), modelo é uma representação física e abstrata da realidade da forma da entidade ou objetos reais, ou seja, é uma representação simplificada de algum aspecto da realidade, com exemplo, equação matemática. Ainda, conforme os autores, em qualquer caso ele deve ser constituído de acordo com os objetivos da modelagem. Desde os mais simples até os mais complexos e sofisticados, são de grande utilidade no manejo de recursos florestais, embora seja uma representação imperfeita da realidade, mas que podem ser melhorados pouco a pouco.

2.4. Classificação geral dos modelos

Spathelf e Nutto (2000), afirma que, dependendo do problema, se desenvolvem na Engenharia Florestal, dois tipos de modelos. Os modelos empíricos e os modelos do tipo mecanísticos.

Os modelos empíricos ou para prognose não consideram hipóteses associadas à casualidade. No pressuposto dessa abordagem, é que se encontram padrões comuns no crescimento de indivíduos. Neste tipo de modelo a floresta é vista como um sistema para a produção.

Os modelos mecanísticos têm uma hipótese associada ao fenômeno descrito e servem para o entendimento de processos. Neste tipo de modelo a floresta é vista como um sistema com ligações complexas entre os seus elementos, introduzindo mais funcionalidade na representação do crescimento e competição entre as populações, embora seu uso esclareça mais sobre a competição entre as espécies, por outro lado, são mais difíceis suas aplicações.

2.4.1. Modelos biológicos

Segundo Oliveira (1995) os modelos biológicos, também conhecidos como modelos biomatemáticos caracterizam-se por expressar uma hipótese lógica concernente as biológicas do crescimento.

As curvas na maioria dos casos tem forma sigmóide e duas características:

- São assintóticas;
- Tem um ponto de inflexão a uma idade que varia com a espécie e sitio.

significando que o incremento anual aumenta inicialmente, atinge um valor máximo, daí para frente decresce vagarosamente tendendo a atingir o valor zero. Sendo estes dois processos de crescimento satisfeito por um modelo, esse deverá ser bastante acurado na produção.

Os modelos biomatemáticos podem ser apresentados, para representar uma função de produção, como taxa de crescimento em relação ao tempo. Uma outra forma possível é aquela que expressa a taxa de crescimento relativo, propiciando informações do crescimento em relação ao tamanho do organismo considerado, no caso, peso ou volume (SCOLFORO, 1998).

Em silvicultura, como em biologia e economia, um número grande de tentativas foi feito para expressar o crescimento como uma fórmula matemática. Uma equação de regressão é uma tentativa para descrever algum fenômeno que pode ser controlado por leis biológicas, físicas ou econômicas muito complexas. Pode ser às vezes uma descrição excelente; mas não é uma lei, só uma aproximação matemática (MACHADO, 1978).

Os modelos teóricos são aqueles desenvolvidos com base em alguma teoria biológica do crescimento dos seres vivos. Nesse caso, os coeficientes do modelo matemático relacionam-se com o fenômeno ou característica biológica (OLIVEIRA, 1995).

Na literatura da biologia matemática, crescimento total é sinônimo de crescimento cumulativo ou a soma de incremento contínuo. Uma equação de crescimento cumulativa deve ser expressa como uma função de tempo, ou idade, e tem que conter um parâmetro que especifica as condições iniciais (SILVA, 1986 citando MOSER E HALL, 1969).

Os modelos originais que tentaram expressar crescimento matematicamente eram modelos basicamente empíricos. De acordo com Silva (1986) citando Prodan (1968) a primeira tentativa para expressar crescimento em pesquisa florestal como uma fórmula matemática provavelmente está devido a Spath em 1797. No início deste século Mitscherlich, usando o princípio de diminuir retorno aplicado em economia (o rendimento chega a um limite e o aumento em rendimento tende para zero), traduziu isto em termos de crescimento biológico como a "Lei de efeitos de fatores de crescimento". Esta Lei atestam que a taxa de crescimento é assumida por ser proporcional à diferença entre o tamanho máximo e o seu parâmetro de crescimento. É expresso matematicamente como:

$$dW/dt = c * (U - W)$$

o qual depois da integração produziu,

$$W = U[1 - \text{EXP}(-ct)]$$

Se os efeitos são compostos de vários (n) fatores, a expressão acima torna-se:

$$W = U[1 - \text{EXP}(-c_1t)] * [1 - \text{EXP}(-c_2t)] \dots [1 - \text{EXP}(-c_nt)]$$

resultando em,

$$W = U[1 - \text{EXP}(-ct)]^n$$

Em que:

$$c = c_1 + c_2 + \dots + c_n$$

W = Crescimento;

t = Tempo decorrido;

U = Rendimento máximo;

n = números de fatores;

EXP (.) = Função antilogaritmica natural.

O parâmetro U é chamado geralmente de termo assintótico, e significa o último nível de crescimento. Este modelo recebeu atenção considerável na literatura alemã.

Bertalanffy em 1957 desenvolveu um modelo baseado no metabolismo dos seres vivos, considerando que a taxa anabólica é proporcional à área da superfície de um organismo enquanto a taxa catabólica é proporcional ao volume do corpo do organismo. Ele expressou isto em fórmula matemática como (SILVA, 1986):

$$dW/dt = \eta * W^m - K * W^n$$

Em que:

W = Peso do corpo;

t = Tempo;

η = Constante do fator anabólico;

K = Constante do fator catabólico;

m, n = Constantes.

Esta expressão significa que a taxa anabólica é proporcional à superfície de um organismo, enquanto a taxa catabólica é proporcional ao volume de corpo. Bertalanffy aplicou a expressão em uma experiência em mamíferos, e

encontrou o valor $2/3$ para o m e geralmente o n é igual à unidade. Assim, generalizou o seu modelo como:

$$dW/dt = \eta * W^{2/3} - K * W$$

Richards em 1959 aplicou o modelo de Bertalanffy numa experiência no aumento do comprimento de hipocótilo de cogumelo, encontrou que o expoente $2/3$ é muito restritivo. Este expoente pode assumir valores diferentes que dependem da natureza da população. À mesma conclusão foi encontrada por Chapman em 1961 enquanto estudando a dinâmica de populações de peixe. Considerar n igual à unidade é necessário para encontrar uma solução da integral com relação ao tempo (SILVA, 1986).

Após a integração, o modelo assumindo m como sendo um valor variável, o modelo se torna:

$$W_t = U * \{1 - b * \text{EXP}[-k * (t - t_0)]\}^{1/(1-m)}$$

Onde $t_0 = 0$

$$W_t = U * \{1 - b * \text{EXP}[-k * t]\}^{1/(1-m)}$$

Esta equação foi nomeada como modelo de crescimento de Chapman-Richards por Turnbull (1963) citado por Silva (1986) e foi prosperamente usado em pesquisa de floresta.

Dependendo do valor do parâmetro m , o modelo de Chapman-Richards representa várias leis de crescimento, o modelo de Bertalanffy, a função de crescimento Monomolecular, a função de crescimento Gompertz, a função de crescimento Logístico são casos especiais da função de crescimento de Chapman-Richards (SILVA, 1986).

Trabalho prévio tem provado a grande flexibilidade do modelo de crescimento da família de Richards em dados de crescimento relacionado à idade, ambos no campo de crescimento animal bem como no crescimento de planta (MACHADO, 1978).

As equações da família de Richards têm sido amplamente utilizadas nas análises de crescimento de animais (SANTORO, 2004), sendo também aplicado com sucesso para ajustar vários tipos de dados de crescimento de floresta (MACHADO, 1978).

2.5. Critérios para a seleção das equações de crescimento

Segundo Fresse (1972), os objetivos dos métodos de regressão são:

- Encontrar uma função matemática que possa ser utilizada para descrever a relação entre a variável dependente e uma ou mais variáveis independentes;
- Testar hipóteses sobre a relação entre uma variável dependente e uma ou mais variáveis independentes.

Para Loetsch et al. (1973), a seleção de equações de regressão, normalmente é feita em três fases distintas:

- Seleção de um número de árvores amostrais suficientes e representativas;
- Medição das variáveis dependentes e independentes;
- Seleção de melhor equação, mediante certos critérios estatísticos.

Segundo Finger (1992), os critérios para a seleção do melhor modelo de regressão são diversos. O uso de apenas uma estatística para esse fim, pode ser perigoso por não definir com certeza a viabilidade do modelo ajustado.

Para evitar predisposições pessoais no julgamento da seleção do melhor modelo que, no caso, já é a equação, Paula Neto (1977), Schlaegel (1981), Silva e Silva (1982), Ahrens (1982), Finger (1992) e Schneider (1998), indicam que as seguintes estatísticas, usadas em conjunto, possibilitam selecionar eficientemente uma equação: coeficiente de determinação, erro padrão da estimativa, índice de ajuste e análise dos resíduos.

2.5.1. Coeficiente de determinação e índice de ajuste

Segundo Ahrens (1982), Silva – Bailey (1991), Finger (1992), Schneider (1998) e Silva e Silva (1999), o coeficiente de determinação expressa a quantidade da variação total explicada pela regressão. Sendo desta forma, quando da análise de modelos, seleciona-se aquela equação que apresenta o maior valor de R^2 ou R^2_{Aj} . Este coeficiente é crescente à medida que se inclui uma nova variável ao modelo de regressão, sendo perigosa sua utilização isolada como critério de seleção de modelos de regressão.

Segundo Schlaegel (1981), para a seleção de equações não-lineares, utiliza-se o teste de comparação denominado Índice de ajuste (IA) ou proporção de correlação, que é semelhante ao coeficiente de determinação (R^2) nos modelos lineares.

2.5.2. Erro padrão da estimativa

O erro padrão da estimativa é uma medida de dispersão entre os valores observados e estimados pela regressão, sendo desejável aquele que tenha o menor valor. Na comparação entre equações, a melhor por este critério é aquela que apresentar o menor valor de erro padrão da estimativa. Entretanto, essa estatística só pode ser usada como comparador entre várias equações com variáveis dependentes de mesma unidade (SCHNEIDER, 1998).

Meyer (1938) apresenta o erro padrão em percentagem, como alternativa para a comparação de equações com variáveis dependentes de diferentes unidades.

2.5.3. Distribuição gráfica residual

A análise gráfica da distribuição residual entre a variável dependente observada e estimada, constitui-se de grande importância na seleção de modelos, por possibilitar a verificação do ajuste da equação ao longo de toda a amplitude dos dados observados (SCHNEIDER, 1998). O exame visual de gráficos é uma opção informal e subjetiva, para analisar a distribuição de

resíduo de regressão, embora, em muitas investigações, seja suficiente para uma adequada avaliação (AHRENS, 1982; SCOLFORO, 1993).

Segundo Paula Neto (1977), os valores dos resíduos, obtidos através da diferença entre os valores observados e estimados, devem se distribuir uniformemente, dentro dos limites dos dados, quando plotados contra os valores observados ou contra os valores estimados.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização do experimento

O experimento se localizou na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária (IPA), no município de Caruaru, no Estado de Pernambuco, com as seguintes coordenadas geográficas: latitude 08°14'18"S; 38°00'00" W, e altitude de 537 m, com classificação climática do tipo Dd'a' (semi-árido megatérmico) segundo Thornthwaite, sendo o solo caracterizado pela associação de Neossolo (EMBRAPA, 1999).

O experimento foi implantado com sementes de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit., tipo Hawaii, variedade K8, de origem australiana, coletada em plantio experimental no município de Floresta – PE, semeadas em agosto de 1989, sendo o plantio definitivo realizado em dezembro de 1989, 121 dias após o início do experimento (MEUNIER, 1991).

Os tratamentos constituem-se de duas estirpes de rizóbio, mais tratamentos comparativos nitrogenados em três níveis de adubação fosfatada, na ausência ou presença de composto de resíduo urbano (Tabela 1), perfazendo um total de 24 tratamentos, repetidos 24 vezes (Tabela 2).

Tabela 1 – Discriminação dos fatores e níveis de adubação no experimento, com *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit., Caruaru-PE.

| FATOR | NÍVEIS | Obs. |
|----------------------------|---|---|
| | (N ₀) sem nitrogênio | Estirpes isoladas no NFB / UFRPE em experimento prévio |
| Sem inoculação com rizóbio | (N ₁) 1,0 g. de uréia / recipiente. | |
| Inoculação com rizóbio | Estirpe 1 (N ₂) Estirpe 2 (N ₃) | (N ₂) NFB 473 (N ₃) NFB 466 |
| | (P ₀) sem fósforo | |
| Adição de fósforo | (P ₁) 0,5g de superfosfato Simples / recipiente (82,8g / m ³) (P ₂) 1,0g de superfosfato simples / recipiente (165,6g / m ³) | --- |
| Composto orgânico | (C ₀) sem composto orgânico (C ₁) com composto orgânico (100ml / 54g) | Composto orgânico proveniente do lixo urbano da Prefeitura municipal do Recife. |

Fonte: Meunier, 1991.

Tabela 2 – Composição química dos tratamentos aplicados em *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wil., Caruaru-PE.

| TRATAMENTO | COMPOSIÇÃO | C | N | P | REPETIÇÕES |
|------------|---|---|---|---|------------|
| 1 | (C ₀ N ₀ P ₀) | 1 | 1 | 1 | 21 |
| 2 | (C ₀ N ₀ P ₁) | 1 | 1 | 2 | 24 |
| 3 | (C ₀ N ₀ P ₂) | 1 | 1 | 3 | 22 |
| 4 | (C ₀ N ₁ P ₀) | 1 | 2 | 1 | 23 |
| 5 | (C ₀ N ₁ P ₁) | 1 | 2 | 2 | 22 |
| 6 | (C ₀ N ₁ P ₂) | 1 | 2 | 3 | 23 |
| 7 | (C ₀ N ₂ P ₀) | 1 | 3 | 1 | 22 |
| 8 | (C ₀ N ₂ P ₁) | 1 | 3 | 2 | 23 |
| 9 | (C ₀ N ₂ P ₂) | 1 | 3 | 3 | 22 |
| 10 | (C ₀ N ₃ P ₀) | 1 | 4 | 1 | 22 |
| 11 | (C ₀ N ₃ P ₁) | 1 | 4 | 2 | 22 |
| 12 | (C ₀ N ₃ P ₂) | 1 | 4 | 3 | 23 |
| 13 | (C ₁ N ₀ P ₀) | 2 | 1 | 1 | 22 |
| 14 | (C ₁ N ₀ P ₁) | 2 | 1 | 2 | 24 |
| 15 | (C ₁ N ₀ P ₂) | 2 | 1 | 3 | 23 |
| 16 | (C ₁ N ₁ P ₀) | 2 | 2 | 1 | 17 |
| 17 | (C ₁ N ₁ P ₁) | 2 | 2 | 2 | 24 |
| 18 | (C ₁ N ₁ P ₂) | 2 | 2 | 3 | 20 |
| 19 | (C ₁ N ₂ P ₀) | 2 | 3 | 1 | 22 |
| 20 | (C ₁ N ₂ P ₁) | 2 | 3 | 2 | 20 |
| 21 | (C ₁ N ₂ P ₂) | 2 | 3 | 3 | 24 |
| 22 | (C ₁ N ₃ P ₀) | 2 | 4 | 1 | 24 |
| 23 | (C ₁ N ₃ P ₁) | 2 | 4 | 2 | 22 |
| 24 | (C ₁ N ₃ P ₂) | 2 | 4 | 3 | 23 |

Fonte: Meunier, 1991.

3.2. Determinação de modelos de crescimento

Foram utilizadas para este trabalho 544 árvores *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit., sobreviventes das 576 árvores plantadas no início do experimento, resultando na alteração das repetições nos 24 tratamentos.

A variável altura (Y) foi medida em todos os indivíduos ao longo do tempo, durante 12 anos, sendo denominada como H1 a H20, indicando as 20 medidas realizadas no experimento (Tabela 3).

Foi empregado para a análise de regressão dos modelos não lineares intrinsecamente não lineares o procedimento NONLINEAR do SYSTAT 10 for Windows (Demo) sendo utilizado o método de Gauss-Newton para calcular as estimativas dos parâmetros.

Para a obtenção da análise da variância foi utilizada a "procedure" ANOVA do SAS 8.0 (SAS, 2000), utilizando para comparação de médias dos tratamentos o teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade (SOUZA, 2003).

Tabela 3 – Datas das medições realizadas no experimento com *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit., Caruaru-PE.

| MEDIDAS | H _i | DATAS | Nº DE DIAS |
|---------|-----------------|------------|------------|
| 1 | H ₁ | 1/1/1990 | 1 |
| 2 | H ₂ | 7/2/1990 | 37 |
| 3 | H ₃ | 7/3/1990 | 65 |
| 4 | H ₄ | 9/4/1990 | 98 |
| 5 | H ₅ | 9/5/1990 | 128 |
| 6 | H ₆ | 9/6/1990 | 159 |
| 7 | H ₇ | 9/7/1990 | 189 |
| 8 | H ₈ | 9/8/1990 | 220 |
| 9 | H ₉ | 13/9/1990 | 255 |
| 10 | H ₁₀ | 15/10/1990 | 287 |
| 11 | H ₁₁ | 15/11/1990 | 318 |
| 12 | H ₁₂ | 28/12/1990 | 361 |
| 13 | H ₁₃ | 25/4/1991 | 479 |
| 14 | H ₁₄ | 26/7/1991 | 571 |
| 15 | H ₁₅ | 24/7/1992 | 935 |
| 16 | H ₁₆ | 1/7/1993 | 1277 |
| 17 | H ₁₇ | 6/1/1994 | 1466 |
| 18 | H ₁₈ | 12/1/1995 | 1837 |
| 19 | H ₁₉ | 1/12/1998 | 3256 |
| 20 | H ₂₀ | 14/03/2003 | 4819 |

3.3. Critérios para seleção das equações de crescimento

Para a seleção do melhor modelo de regressão, foram observadas em conjuntos as seguintes estatísticas: índice de ajuste (IA %), erro padrão da estimativa (S_{yx} %) e análise gráfica dos resíduos.

O Índice de ajuste (IA %), usado para a escolha da melhor equação não-linear, é descrito da seguinte forma:

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

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.

O erro padrão da estimativa percentual (S_{yx} %) foram obtidas através da fórmula (SCHNEIDER, 1998):

$$S_{yx}\% = \frac{\sqrt{QMRESÍDUO}}{\bar{Y}} * 100$$

Em que:

S_{yx} % = erro padrão da estimativa em percentagem;

\bar{Y} = média aritmética da variável dependente;

QMRESÍDUO = quadrado médio do resíduo, obtido na análise da variância.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Estimativas dos parâmetros das equações não lineares

Na tabela 4, são apresentados os parâmetros dos modelos testados (β e κ), bem como seus índices de ajuste (IA %), erro padrão da estimativa (S_{yx} %), obtidos através da modelagem de crescimento de leucena na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária (IPA) no município de Caruaru-PE.

Analisando os valores das estimativas dos parâmetros de todas as equações para o tratamento 111, observa-se (tabela 4) que a equação de Brody, após as análises estatísticas, obteve o melhor resultado nas medidas de precisão, obtendo para o índice de ajuste 98,8 % e um erro padrão da estimativa de 0,33 % sendo este o melhor modelo testado. Analisando as mesmas medidas de precisão o segundo melhor modelo foi de Silva-Bailey obtendo 98,7 % e 0,35 %, para índice de ajuste e erro padrão da estimativa respectivamente. Esperava-se que o modelo de Chapman-Richards obtivesse o melhor resultado após a análise estatística, por ser o modelo mais utilizado para o ajuste de dados biológicos de espécies florestais, ficando abaixo dos modelos acima citados com um índice de ajuste de 97,4 % e um erro padrão da estimativa de 0,49 %.

O modelo de Chapman-Richards é muito utilizado para estimar crescimento de florestas artificiais que possui um desenvolvimento uniforme como o pinus e o eucalipto, tendo pouca tortuosidade do fuste, pouca ramificação e uma copa bem definida, levando em consideração a uniformidade das alturas entre os indivíduos, o mesmo não acontecendo com a leucena, que apresenta forma bem diferente, possuindo alta variabilidade de forma de fuste ramificação e copa, e desuniformidade entre as alturas dos indivíduos, mesmo sendo um plantio artificial.

Os modelos de crescimento Bertalanffy, Monomolecular e Logístico obtiveram os mesmo resultados para os índices de ajuste de 96,1 % e erro padrão da estimativa de 0,58 %.

Segundo Souza (2003) o tratamento 111 (testemunha) em que se verifica ausência de qualquer composto químico obteve nos quatro primeiros anos após plantio um crescimento rápido inicial declinando após este período tomando uma forma sigmóide típica de crescimento biológico. Este mesmo comportamento observado foi obtido por Barros et al. (1984) para análise de crescimento de *Eucalyptus saligna*. As plantas de eucalipto, já na idade de 7 anos apresentavam independente do tratamento aplicado, a forma sigmóide típica do crescimento biológico.

pode-se observar que para ambos os casos, os princípios citados por Oliveira (1995), em que a forma sigmóide do crescimento biológico, possuir valores assintóticos e pontos de inflexão, foram satisfeitos.

Os modelos de Chapman-Richards, Brody e Silva-Bailey, por considerarem o ponto de inflexão da curva de crescimento das espécies, os seus valores assintóticos e a sua forma sigmóide, obtiveram uma maior acuracidade dos modelos resultando maiores valores para as medidas de precisão (IA % e S_{yx} %) (Tabela 4) bem como uma melhor distribuição gráfica dos resíduos (Figura 2 a 8) resultando numa estimativa mais precisa do crescimento da espécie em estudo.

Como os modelos de Bertalanffy, Monomolecular, Logístico e Johnson não possuem um dos princípios citados por Oliveira (1995), que leva em conta o ponto de inflexão da curva de crescimento ($m = 0$), resulta numa menor precisão dos índices estimados bem como obtenção de estimativas menos precisa.

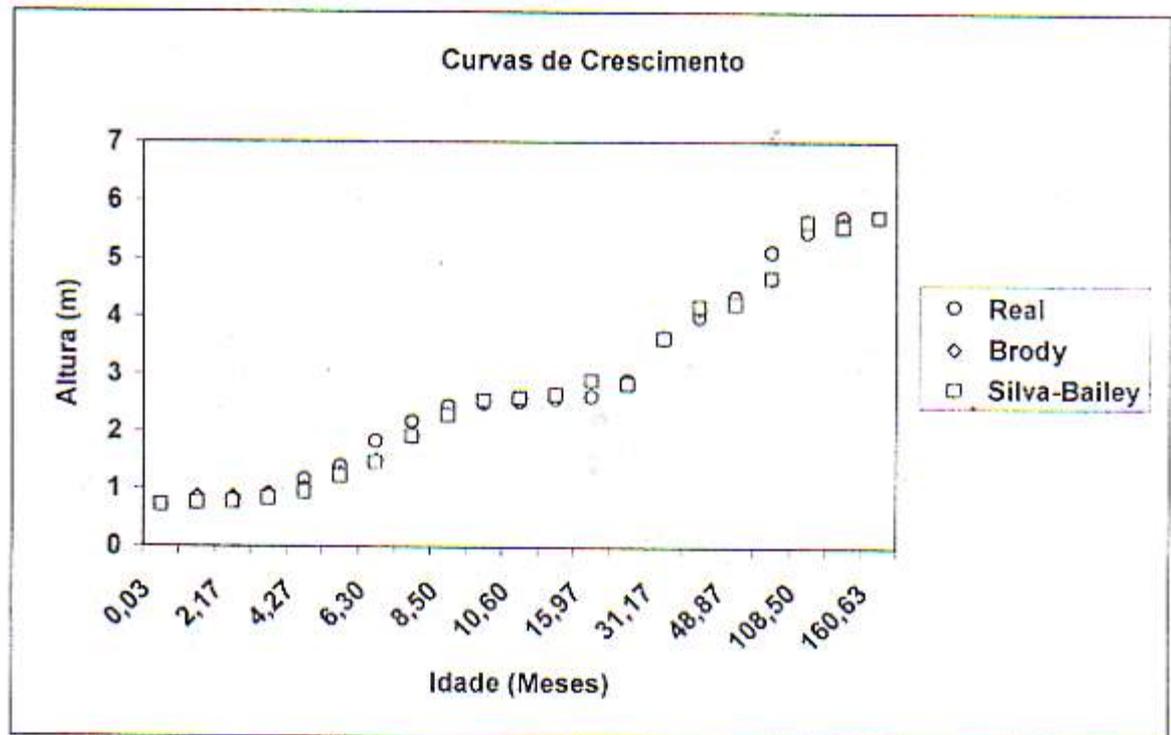
Os resultados obtidos para todos os 24 tratamentos analisados, foram semelhantes após as análises feitas pelos 7 modelos, tendo sido o modelo de Brody o melhor, seguido pelo de Silva-Bailey e o de Chapman-Richards, respectivamente.

Na figura 1, apresenta as curvas de crescimento dos valores reais médios e os estimados pelos modelos de Brody e Silva-Bailey, para o tratamento 111, referente à ausência de compostos químicos, no experimento de leucena, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE.

As estimativas dos modelos corresponderam muito bem a realidade do crescimento da espécie, não diferindo praticamente dos valores reais obtidos

no campo. Observa-se forma sigmóide tendo o ponto de inflexão próximo a 6,0 m de altura, resultando num ajuste que representa o crescimento desta espécie para este determinado local.

As curvas de crescimento dos demais tratamentos encontram-se no apêndice.



Figuras 1 – Curvas de crescimento real e estimada pelos modelos de Brody e Silva-Bailey, para a leucena, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE.

Tabela 4 – Modelos testados e os seus respectivos índices e parâmetros estimados, através da modelagem de crescimento de leucena, nos tratamentos considerados, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE.

| TRATAMENTO | MODELO | ÍNDICES | | PARÂMETROS | |
|------------|------------------|---------|---------|------------|---------|
| | | IA (%) | EPE (%) | κ | β |
| 111 | Chapman-Richards | 97,4 | 0,49 | 0,0038 | 0,1309 |
| | Bertalanffy | 96,1 | 0,58 | -65,8405 | - |
| | Monomolecular | 96,1 | 0,58 | -97,9568 | - |
| | Logística | 96,1 | 0,58 | -699,0831 | - |
| | Brody | 98,8 | 0,33 | -0,0293 | 4,3196 |
| | Johnson | 96,9 | 0,53 | 0,0048 | - |
| | Silva-Bailey | 98,7 | 0,35 | 0,9613 | -1,2777 |
| 112 | Chapman-Richards | 97,7 | 0,45 | 0,0045 | 0,1335 |
| | Bertalanffy | 96,5 | 0,56 | -62,5864 | - |
| | Monomolecular | 96,5 | 0,56 | -94,5587 | - |
| | Logística | 96,5 | 0,56 | -573,6230 | - |
| | Brody | 99,2 | 0,27 | -0,0297 | 4,3126 |
| | Johnson | 97,3 | 0,49 | 0,0048 | - |
| | Silva-Bailey | 99,1 | 0,29 | 0,9613 | -1,2711 |
| 113 | Chapman-Richards | 97,8 | 0,47 | 0,0068 | 0,1195 |
| | Bertalanffy | 96,3 | 0,59 | -37,5508 | - |
| | Monomolecular | 96,3 | 0,59 | -67,5477 | - |
| | Logística | 96,3 | 0,59 | -689,2952 | - |
| | Brody | 99,1 | 0,30 | -0,0283 | 4,1927 |
| | Johnson | 97,2 | 0,52 | 0,0049 | - |
| | Silva-Bailey | 98,9 | 0,34 | 0,9644 | -1,1203 |
| 121 | Chapman-Richards | 97,2 | 0,50 | 0,0064 | 0,1210 |
| | Bertalanffy | 96,4 | 0,61 | -54,7232 | - |
| | Monomolecular | 96,4 | 0,61 | -86,2667 | - |
| | Logística | 96,4 | 0,61 | -741,5355 | - |
| | Brody | 99,0 | 0,32 | -0,0299 | 3,8993 |
| | Johnson | 97,3 | 0,53 | 0,0047 | - |
| | Silva-Bailey | 98,9 | 0,34 | 0,9596 | -1,2799 |
| 122 | Chapman-Richards | 98,4 | 0,49 | 0,0081 | 0,1173 |
| | Bertalanffy | 96,5 | 0,64 | -41,8123 | - |
| | Monomolecular | 96,5 | 0,64 | -72,2988 | - |
| | Logística | 96,5 | 0,64 | -654,0257 | - |
| | Brody | 99,3 | 0,28 | -0,0280 | 3,7559 |
| | Johnson | 97,5 | 0,54 | 0,0047 | - |
| | Silva-Bailey | 99,2 | 0,32 | 0,9636 | -1,1921 |
| 123 | Chapman-Richards | 97,8 | 0,51 | 0,0110 | 0,1072 |
| | Bertalanffy | 96,2 | 0,64 | -61,4788 | - |
| | Monomolecular | 96,2 | 0,64 | -93,3980 | - |
| | Logística | 96,2 | 0,64 | -589,2004 | - |
| | Brody | 99,3 | 0,28 | -0,0249 | 4,0471 |
| | Johnson | 97,3 | 0,54 | 0,0049 | - |
| | Silva-Bailey | 99,2 | 0,30 | 0,9674 | -1,2109 |

continua

Tabela 4 – Modelos testados e os seus respectivos índices e parâmetros estimados, através da modelagem de crescimento de leucena, nos tratamentos considerados, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE.

| TRATAMENTO | MODELO | ÍNDICES | | PARÂMETROS | |
|------------|------------------|---------|---------|------------|---------|
| | | IA (%) | EPE (%) | κ | β |
| 131 | Chapman-Richards | 97,5 | 0,52 | 0,0082 | 0,1080 |
| | Bertalanffy | 96,2 | 0,63 | -57,0947 | - |
| | Monomolecular | 96,2 | 0,63 | -88,7810 | - |
| | Logística | 96,2 | 0,63 | -606,7891 | - |
| | Brody | 98,9 | 0,34 | -0,0287 | 3,9383 |
| | Johnson | 97,1 | 0,55 | 0,0047 | - |
| | Silva-Bailey | 98,8 | 0,37 | 0,9630 | -1,1610 |
| 132 | Chapman-Richards | 97,8 | 0,49 | 0,0061 | 0,1284 |
| | Bertalanffy | 96,4 | 0,63 | -47,3758 | - |
| | Monomolecular | 96,4 | 0,63 | -78,3845 | - |
| | Logística | 96,4 | 0,63 | -795,6489 | - |
| | Brody | 99,3 | 0,28 | -0,0292 | 4,0377 |
| | Johnson | 97,3 | 0,54 | 0,0047 | - |
| | Silva-Bailey | 99,2 | 0,30 | 0,9609 | -1,3371 |
| 133 | Chapman-Richards | 97,8 | 0,51 | 0,0088 | 0,1103 |
| | Bertalanffy | 96,4 | 0,64 | -60,7781 | - |
| | Monomolecular | 96,4 | 0,64 | -92,6625 | - |
| | Logística | 96,4 | 0,64 | -678,5063 | - |
| | Brody | 99,2 | 0,30 | -0,0280 | 3,8681 |
| | Johnson | 97,3 | 0,55 | 0,0047 | - |
| | Silva-Bailey | 99,1 | 0,33 | 0,9637 | -1,1986 |
| 141 | Chapman-Richards | 97,8 | 0,45 | 0,0019 | 0,1422 |
| | Bertalanffy | 96,4 | 0,56 | -47,3981 | - |
| | Monomolecular | 96,4 | 0,56 | -78,4087 | - |
| | Logística | 96,4 | 0,56 | -591,6556 | - |
| | Brody | 99,1 | 0,29 | -0,0323 | 4,3129 |
| | Johnson | 97,2 | 0,50 | 0,0047 | - |
| | Silva-Bailey | 98,9 | 0,32 | 0,9591 | -1,2214 |
| 142 | Chapman-Richards | 97,7 | 0,48 | 0,0082 | 0,1208 |
| | Bertalanffy | 96,2 | 0,60 | -47,0316 | - |
| | Monomolecular | 96,2 | 0,60 | -78,0113 | - |
| | Logística | 96,2 | 0,60 | -668,1846 | - |
| | Brody | 99,1 | 0,30 | -0,0262 | 4,1932 |
| | Johnson | 97,2 | 0,52 | 0,0051 | - |
| | Silva-Bailey | 98,9 | 0,33 | 0,9654 | -1,2112 |
| 143 | Chapman-Richards | 97,9 | 0,50 | 0,0107 | 0,1001 |
| | Bertalanffy | 96,5 | 0,63 | -47,4853 | - |
| | Monomolecular | 96,5 | 0,63 | -78,5032 | - |
| | Logística | 96,5 | 0,63 | -739,1302 | - |
| | Brody | 99,1 | 0,32 | -0,0281 | 3,7460 |
| | Johnson | 97,4 | 0,54 | 0,0048 | - |
| | Silva-Bailey | 98,9 | 0,36 | 0,9652 | -1,0387 |

continua

Tabela 4 – Modelos testados e os seus respectivos índices e parâmetros estimados, através da modelagem de crescimento de leucena, nos tratamentos considerados, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE.

| TRATAMENTO | MODELO | INDICES | | PARAMETROS | |
|------------|------------------|---------|---------|------------|---------|
| | | IA (%) | EPE (%) | κ | β |
| 211 | Chapman-Richards | 97,9 | 0,50 | 0,0055 | 0,1107 |
| | Bertalanffy | 96,6 | 0,62 | -52,9454 | - |
| | Monomolecular | 96,6 | 0,62 | -84,3731 | - |
| | Logística | 96,6 | 0,62 | -681,7858 | - |
| | Brody | 99,3 | 0,30 | -0,0323 | 3,7698 |
| | Johnson | 97,3 | 0,55 | 0,0042 | - |
| | Silva-Bailey | 99,1 | 0,33 | 0,9597 | -1,1324 |
| 212 | Chapman-Richards | 98,1 | 0,45 | 0,0096 | 0,1096 |
| | Bertalanffy | 96,6 | 0,58 | -45,0126 | - |
| | Monomolecular | 96,6 | 0,58 | -75,8138 | - |
| | Logística | 96,6 | 0,58 | -651,3871 | - |
| | Brody | 99,1 | 0,30 | -0,0273 | 3,9142 |
| | Johnson | 97,5 | 0,49 | 0,0050 | - |
| | Silva-Bailey | 98,9 | 0,34 | 0,9671 | -0,9887 |
| 213 | Chapman-Richards | 97,9 | 0,46 | 0,0077 | 0,1024 |
| | Bertalanffy | 96,7 | 0,57 | -45,9526 | - |
| | Monomolecular | 96,7 | 0,57 | -76,8388 | - |
| | Logística | 96,7 | 0,57 | -631,1394 | - |
| | Brody | 99,0 | 0,33 | -0,0294 | 3,7265 |
| | Johnson | 97,4 | 0,51 | 00,46 | - |
| | Silva-Bailey | 98,7 | 0,36 | 0,9655 | -0,9284 |
| 221 | Chapman-Richards | 98,0 | 0,43 | 0,0051 | 0,1456 |
| | Bertalanffy | 96,4 | 0,57 | -43,6050 | - |
| | Monomolecular | 96,4 | 0,57 | -74,2729 | - |
| | Logística | 96,4 | 0,57 | -590,3619 | - |
| | Brody | 99,0 | 0,30 | -0,0267 | 4,1719 |
| | Johnson | 97,4 | 0,49 | 0,0052 | - |
| | Silva-Bailey | 98,8 | 0,34 | 0,9673 | -1,0880 |
| 222 | Chapman-Richards | 97,9 | 0,44 | 0,0062 | 0,1245 |
| | Bertalanffy | 96,4 | 0,56 | -46,8005 | - |
| | Monomolecular | 96,4 | 0,56 | -77,7605 | - |
| | Logística | 96,4 | 0,56 | -651,3336 | - |
| | Brody | 99,0 | 0,30 | -0,0263 | 4,2260 |
| | Johnson | 97,2 | 0,49 | 0,0050 | - |
| | Silva-Bailey | 98,8 | 0,33 | 0,9679 | -1,0417 |
| 223 | Chapman-Richards | 97,9 | 0,45 | 0,0056 | 0,1328 |
| | Bertalanffy | 96,4 | 0,57 | -47,7160 | - |
| | Monomolecular | 96,4 | 0,57 | -78,7531 | - |
| | Logística | 96,4 | 0,57 | -735,8114 | - |
| | Brody | 99,1 | 0,29 | -0,0274 | 4,2433 |
| | Johnson | 97,3 | 0,50 | 0,0050 | - |
| | Silva-Bailey | 98,9 | 0,32 | 0,9653 | -1,1580 |

continua

Tabela 4 – Modelos testados e os seus respectivos índices e parâmetros estimados, através da modelagem de crescimento de leucena, nos tratamentos considerados, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE.

| TRATAMENTO | MODELO | ÍNDICES | | PARÂMETROS | |
|------------|------------------|---------|---------|------------|---------|
| | | IA (%) | EPE (%) | κ | β |
| 231 | Chapman-Richards | 97,9 | 0,47 | 0,0082 | 0,1085 |
| | Bertalanffy | 96,6 | 0,59 | -60,4267 | - |
| | Monomolecular | 96,6 | 0,59 | -92,2934 | - |
| | Logística | 96,6 | 0,59 | -599,2892 | - |
| | Brody | 99,0 | 0,32 | -0,0298 | 3,7872 |
| | Johnson | 97,4 | 0,51 | 0,0047 | - |
| | Silva-Bailey | 98,8 | 0,36 | 0,9643 | -0,9978 |
| 232 | Chapman-Richards | 97,8 | 0,48 | 0,0067 | 0,1228 |
| | Bertalanffy | 96,2 | 0,61 | -51,3961 | - |
| | Monomolecular | 96,2 | 0,61 | -82,7162 | - |
| | Logística | 96,2 | 0,61 | -699,2663 | - |
| | Brody | 99,1 | 0,31 | -0,0284 | 4,1605 |
| | Johnson | 97,1 | 0,53 | 0,0049 | - |
| | Silva-Bailey | 98,8 | 0,34 | 0,9653 | -1,1076 |
| 233 | Chapman-Richards | 98,0 | 0,42 | 0,0037 | 0,1407 |
| | Bertalanffy | 96,5 | 0,54 | -44,6524 | - |
| | Monomolecular | 96,5 | 0,54 | -75,4202 | - |
| | Logística | 96,5 | 0,54 | -673,5178 | - |
| | Brody | 99,2 | 0,27 | -0,0297 | 4,3918 |
| | Johnson | 97,3 | 0,47 | 0,0050 | - |
| | Silva-Bailey | 98,9 | 0,31 | 0,9626 | -1,1607 |
| 241 | Chapman-Richards | 97,8 | 0,44 | 0,0065 | 0,1206 |
| | Bertalanffy | 96,3 | 0,55 | -46,0444 | - |
| | Monomolecular | 96,3 | 0,55 | -76,9386 | - |
| | Logística | 96,3 | 0,55 | -715,7415 | - |
| | Brody | 99,0 | 0,30 | -0,0294 | 4,3436 |
| | Johnson | 97,2 | 0,48 | 0,0051 | - |
| | Silva-Bailey | 98,7 | 0,33 | 0,9634 | -1,0972 |
| 242 | Chapman-Richards | 97,5 | 0,54 | 0,0100 | 0,0910 |
| | Bertalanffy | 96,3 | 0,64 | -59,1054 | - |
| | Monomolecular | 96,3 | 0,64 | -90,9032 | - |
| | Logística | 96,3 | 0,64 | -685,6004 | - |
| | Brody | 98,7 | 0,39 | -0,0296 | 3,5573 |
| | Johnson | 97,1 | 0,57 | 0,0045 | - |
| | Silva-Bailey | 98,5 | 0,41 | 0,9631 | -1,0095 |
| 243 | Chapman-Richards | 97,8 | 0,45 | 0,0070 | 0,1158 |
| | Bertalanffy | 96,4 | 0,55 | -47,9529 | - |
| | Monomolecular | 96,4 | 0,55 | -79,0094 | - |
| | Logística | 96,4 | 0,55 | -733,0207 | - |
| | Brody | 98,7 | 0,34 | -0,0295 | 4,0138 |
| | Johnson | 97,3 | 0,48 | 0,0050 | - |
| | Silva-Bailey | 98,5 | 0,37 | 0,9631 | -1,0340 |

4.2. Análise da distribuição gráfica residual dos modelos testados

A distribuição gráfica dos resíduos, para os modelos de Chapman-Richards, Bertalanffy, Monomolecular, Logístico, Brody, Johnson e Silva-Bailey para o tratamento 111, é apresentada nas Figuras 2 a 8.

Analisando a distribuição dos desvios em porcentagem pode-se notar uma boa distribuição nos modelos de Brody e o de Silva-Bailey não possuindo tendência a superestimar ou subestimar os valores obtidos através da modelagem de crescimento de leucena, observados nas Figuras 6 e 8. Já a distribuição gráfica dos resíduos obtidos através dos modelos de Chapman-Richards, Bertalanffy, Monomolecular, Logística e Johnson apresentaram uma leve tendência a subestimar os valores obtidos pela modelagem de crescimento de leucena, observados nas Figuras 2, 3, 4, 5 e 7.

Observaram-se nos demais tratamentos que os modelos que obtiveram os melhores índices de precisão apresentaram as semelhantes distribuições gráficas residuais que acabamos de comentar no tratamento 111, e que se encontram no Apêndice.

As distribuições aqui apresentadas apenas confirmam que os modelos de Brody e Silva-Bailey, que anteriormente apresentaram as melhores medidas de precisão ($IA\%$ e $S_{yx}\%$), são os melhores dentre os demais modelos testados para a modelagem de crescimento de leucena.

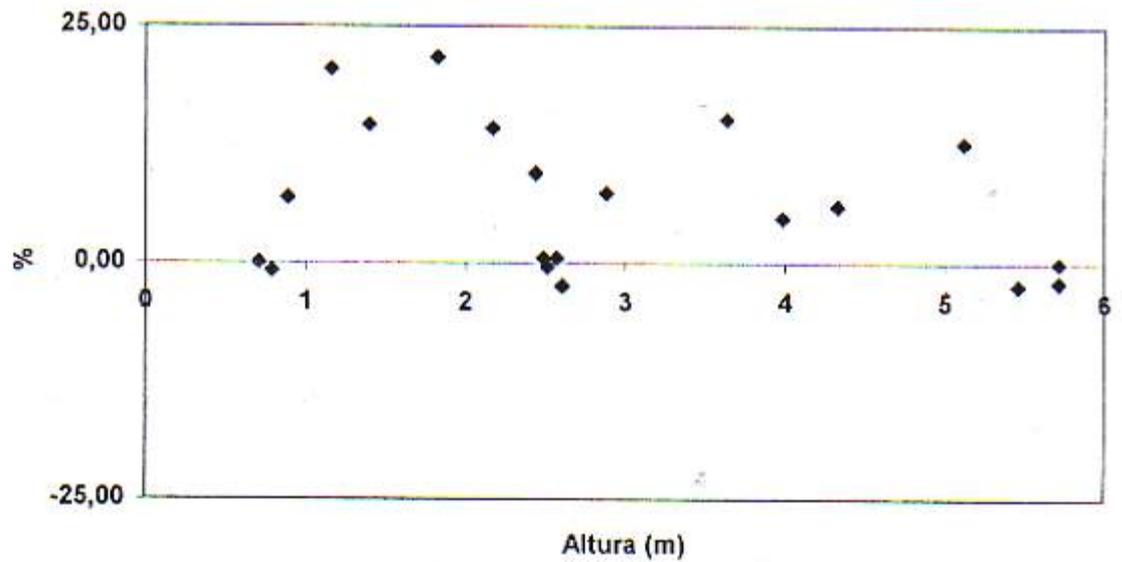


Figura 2 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa do crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Chapman-Richards para o tratamento 111.

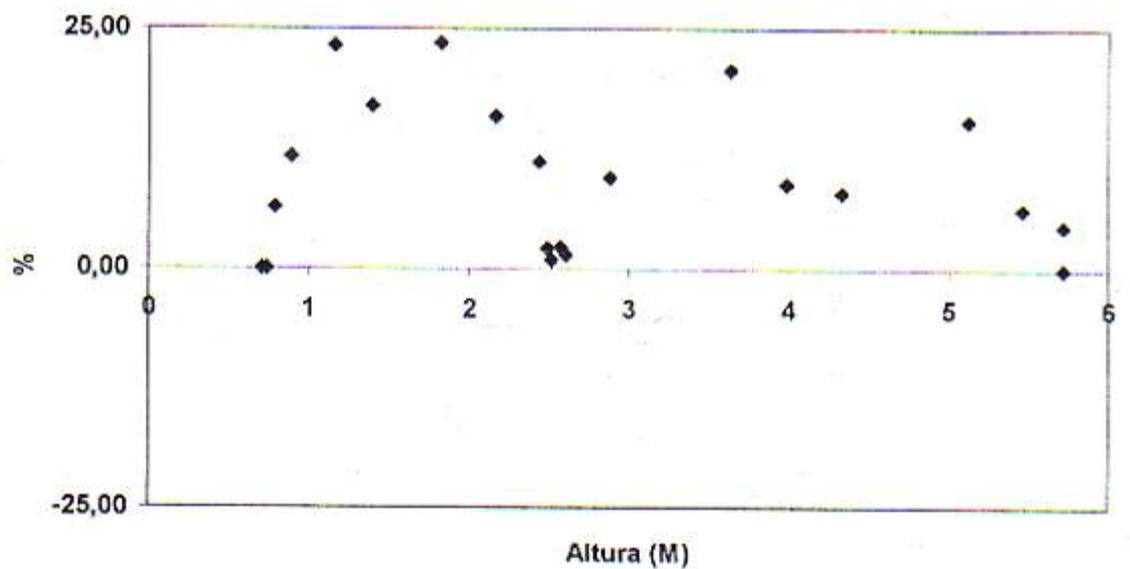


Figura 3 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa do crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Bertalanffy para o tratamento 111.

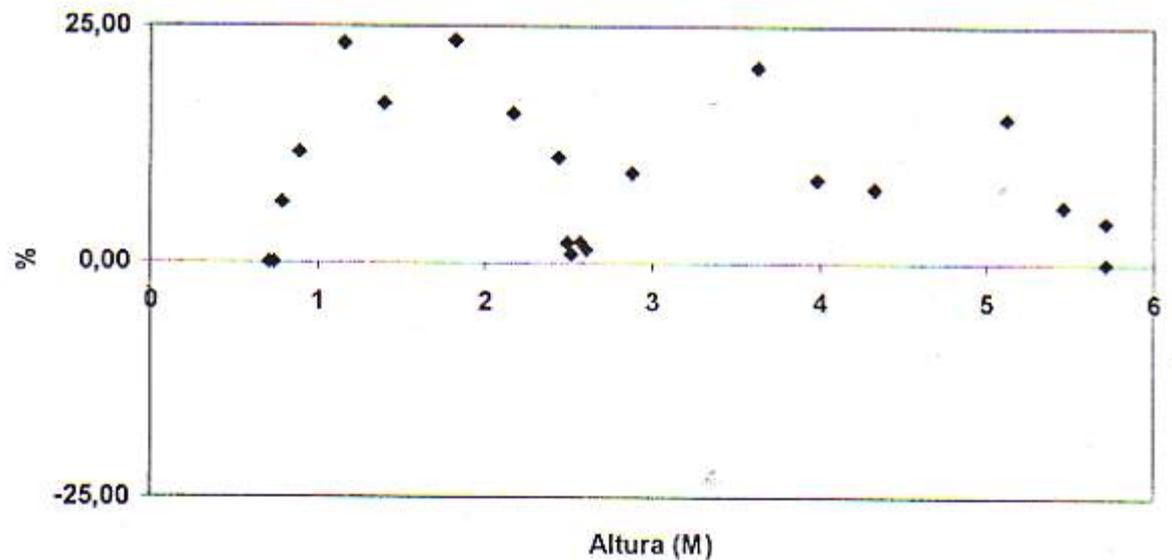


Figura 4 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa do crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Monomolecular para o tratamento 111.

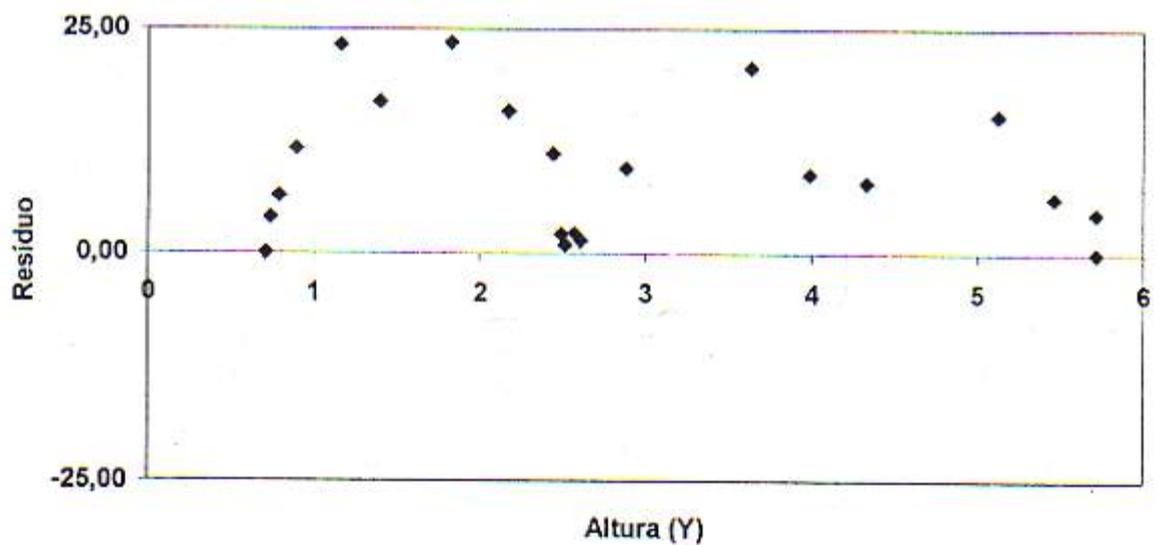


Figura 5 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa do crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Logístico para o tratamento 111.

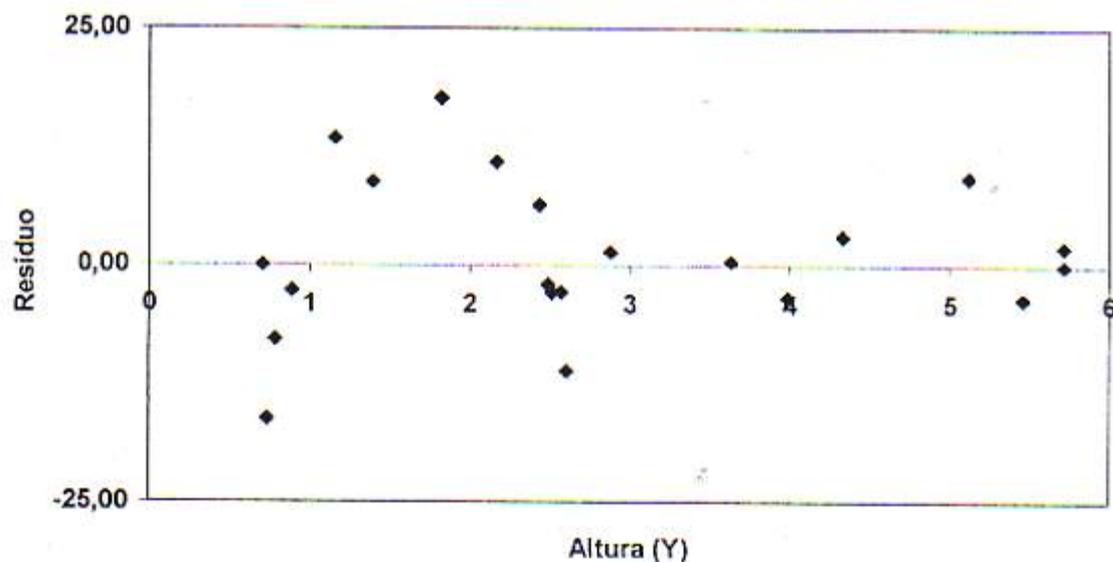


Figura 6 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa do crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 111.

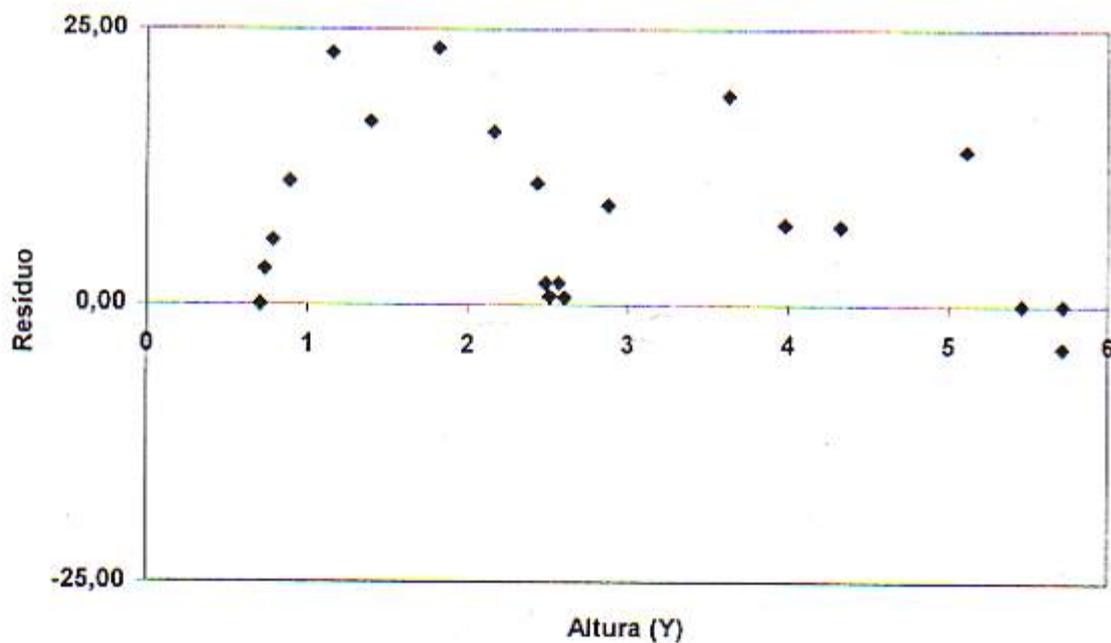


Figura 7 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa do crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Johnson para o tratamento 111.

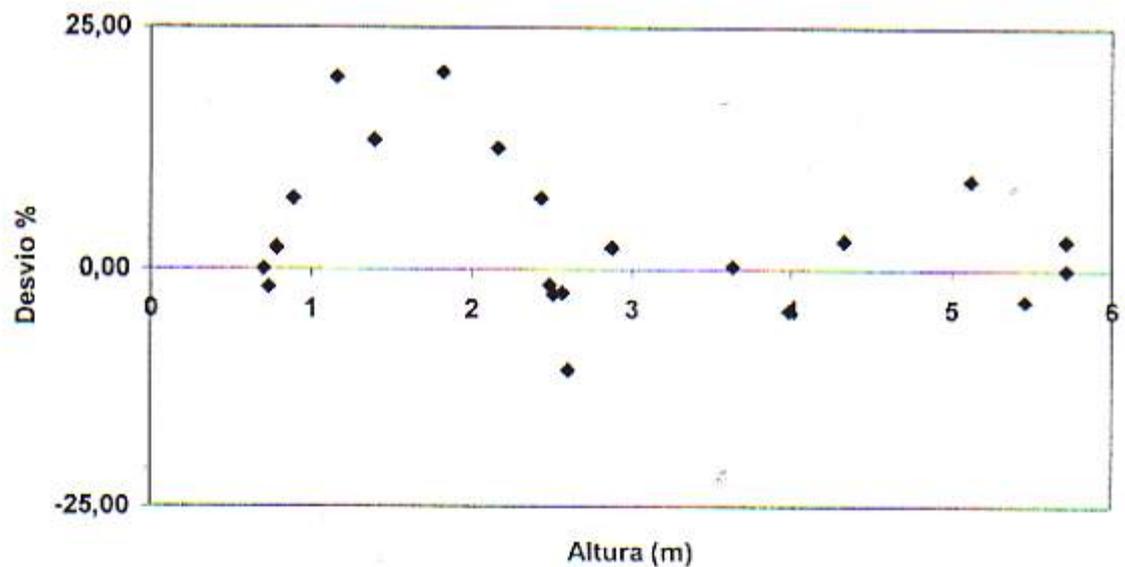


Figura 8 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa do crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 111.

4.3. Análise da variância para os modelos testados

Para os modelos testados na modelagem de crescimento dos dados de altura de leucena, aplicou-se uma análise de variância com a finalidade de se testar se havia ou não, diferença significativa entre esses modelos. O resultado dessa análise encontra-se na Tabela 5, onde se observa não haver diferença significativa entre os modelos, ao nível de 1 % de probabilidade.

Tabela 5 – Análise da variância para os modelos de crescimento testados.

| Análise da Variância | | | | | |
|----------------------|------|-------------|----------|--------------------|--------|
| Fonte de variação | GL | SQ | QM | F | Pr > F |
| Modelos | 191 | 136.045105 | 0.712278 | 0.33 ^{ns} | 0.9999 |
| Erro | 3648 | 7793.651128 | 2.136418 | | |
| Total | 3839 | 7929.696233 | | | |

^{ns} Não significativo a nível de 1 % de probabilidade.

5. CONCLUSÕES

Nas análises de regressão, os modelos de Brody e Silva-Bailey foram os melhores, considerando-se os valores obtidos para as medidas de precisão ($IA\%$ e $S_{yx}\%$), bem como a análise de sua distribuição gráfica residual.

Análise de variância mostrou que não há diferença significativa entre os modelos analisados, sugerindo que qualquer um dos modelos testados pode ser utilizado para estimar o crescimento de leucena.

REFERÊNCIAS

- AHRENS, S. Importância da distribuição dos resíduos de regressão na seleção de equações de volume. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4., 1982, Curitiba. **Anais...** Curitiba: EMBRAPA, 1982. p. 7-25.
- ALCÂNTARA, P. B. Recursos genéticos em leguminosas arbóreas e arbustivas. In: SIMPÓSIO SOBRE USOS MÚLTIPLOS DE LEGUMINOSAS ARBÓREAS E ARBUSTIVAS, 1., 1993, Nova Odessa. **Anais...** Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 1993, p.1-29.
- AVERY, T. E.; BURKHART, H. E. **Forest management**. 4 ed. New York: McGraw-Hill, 1994, 432 p.
- BARROS, N. F. et al. A. **Análise do crescimento de *Eucalyptus saligna* em solo de cerrado sob diferentes níveis de N. P. K. no Vale do Jequitinhonha, MG.** Instituto de pesquisa engenharia florestal, Piracicaba, n. 26, p. 13-17, 1984.
- BÊDE, S. N. P. et al. Identificação de fatores nutricionais limitantes da fixação simbiótica do nitrogênio atmosférico em leucena. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 9, p. 5-7, 1985.
- BREWBAKER, J. L. **Guide to the systematic of genus *Leucaena* (Mimosaceae).** Cali: CIAT, 1978. 16p.
- BREWBAKER, J. L. Can there is such a thing as a perfect tree? **Agroforestry Today**, Nairobi. v. 1, n. 4, p. 4 - 7, 1989.
- BURKHART, H. E. Data collection and modeling approaches for forest growth and yield prediction. In: **PREDICTING FOREST GROWTH AND YIELD CURRENT ISSUES, FUTURE PROSPECTS**, 1987, Seattle. **Anais...** Seattle: University Washington, 1987. p. 3 - 16.

BURKHART, H. E. Development of empirical growth and yield models. In: **EMPRICAL AND PROCESS-BASED MODELS FOR FOREST TREE AND STAND GROWTH SIMULATION**, 1., 1999, Oeiras. **Anais...** Lisboa: Salamandra, 1999. p. 53-60.

CAUSTON, D. R.; VENUS, J. C. **The biometry of plant growth**. London: Edward Arnold, 1981. 307 p.

COSTA, N. de C. et al. **Formação e manejo de pastagem de leucena em Rondônia**, [s.l.]: EMBRAPA, [2002]. Disponível: <http://www.cpafrro.embrapa.br/Pesquisa/public/2001/past_forrag/RT_30.PDF>, acesso em: 03 nov. 2003.

CUNHA, L. S. *Leucaena*: a árvore milagrosa de grande futuro energético para o Brasil. **Jornal dos Reflorestadores**, [s.l.], v. 1, n. 4, p. 17 – 19, 1979.

DAVIS, L. S.; JOHNSON, K. N. **Forest management**. 3. ed., New York: McGraw-Hill, 1987. 790 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistemas brasileiros de classificação de solos**. Brasília, DF, 1999. 412 p.

FINGER, C.A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM, 1992. 269 p.

FRANCO, A. A.; SOUTO, S. M. *Leucaena leucocephala* – uma leguminosa com múltiplas utilidades para os trópicos. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1986. 7 p. (Comunicação técnica, 2).

FREITAS, A. R. et al. *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.: cultura e melhoramento. São Carlos: EMBRAPA – UEPAE, 1991. 93 p. (Documentos, 12).

FRESSE, F. **Linear Regression Methods for Forest Research**. U.S.A.: U.S. Department of Agriculture Forest Service. 1972, 132 p.

GARCIA, R. Banco de proteína. In: SIMPOSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 8., 1986, Piracicaba. **Anais... FEALQ**, 1986. p. 79-99.

HILL, G. D. *Leucaena leucocephala* for pastures in the tropics. **Herbage Abstracts**, Farnham Royal, v. 41, n. 2, p. 112 – 119, 1971.

HOFFMAN, R.; VIEIRA, S. Uma introdução à econometria. 3. ed., São Paulo: HUCITEC, 1998. 379 p.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. **Forest mensuration**. New York: J. Willey, 1982. 401 p.

HUTTON, E. M. Breeding and selecting leucena for acid tropical soils. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, p. 263 – 74, 1984.

KLUTHCOUSKI, J. **Leucena: uma alternativa para a pequena e média agricultura**. 2. ed., Brasília: EMBRAPA, 1982. 12 p. (Circular técnica, 6).

LOETSCH, F.; SÖHRER, F.; HALLER, K. E. **Forest Inventory**. München: BLV. Verlagsgesellschaft, 1973. 469 p.

MACHADO, S. do A. **Studies in growth and yield estimation for *Pinus taeda* L. plantations in the State of Parana – Brazil**. 1978. 170 f. Thesis (Doctor of Philosophy) – University of Washington, Washington.

MENDES, B. V. **Alternativa tecnológica para a agropecuária do semi-árido**. São Paulo: Nobel, 1985. p. 109 – 112. (Coleção Mossoroense, 266).

MEUNIER, I. M. J. **Crescimento de mudas de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. Em função do uso de composto de resíduo urbano, adubação fosfatada e inoculação de *Rhizobium loti***. 1991. 110 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 1991.

MEYER, H. A. The standard error of estimate of tree volume from the logarithmic volume equation. **Journal of Forestry**, Bethesda, v. 36, p. 340-342, 1938.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES - NAS. **Leucaena: promising forage and tree-crop for the tropics**. Washington, D.C. 1984, 100p.

NITROGEN FIXING TREE ASSOCIATION – NFTA. **Leucaena: wood production and use**. Hawaii, 1985. 50 p.

OAKES, A. J. *Leucaena leucocephala*: description. Culture, utilization. **Advancing Frontiers of Plant Sciences**, [s.l.], v. 20, p. 1 – 114, 1968.

OLIVEIRA, C. G. Introdução ao estudo e modelos de crescimento e produção florestal. Recife: UFRPE, 1995. 79 f. Apostila.

PAULA NETO, F. **Construction of standard volume table for *Eucalyptus saligna* in the Iron Region of Brazil**. 1977. 140 f. Thesis (Doctor of Philosophy) - Purdue University, Lafayette.

SALERMO, A. R.; SEIFFERT, N. F. **Leucaena: características agronômicas e recomendações de manejo**. Florianópolis: EMPASC, 1986. 9 p. (Comunicado Técnico, 105).

SANQUETTA, C. R. et al. Matriz de transição para a simulação da dinâmica, mortalidade e recrutamento de floresta natural com matriz markoviana de potência. **Floresta**, Curitiba, v. 24, n. ½, p. 23 – 26, jul. 1995.

SANTORO, K. R. **Caracterização de curvas de crescimento de bovinos zebu no Estado de Pernambuco**. 2004. 114 f. Dissertação (Doutorado em Zootecnia) – Departamento de Zootecnia – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2004.

SANTOS, J. R. Efeito de fosfogeno, superfosfato triplo, composto urbano e inoculações com *Bradyrhizobium* e micorrizas sobre o comportamento de mudas de leucena. 1991, 95 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 1991.

SAS Institute Inc. SAS/STAT User's guide. Version 6.12. 4. ed. Cary, 2000.

SCHLAEGEL, B. E. Testing, reporting, and sing biomass estimation models. In: SOUTHERN FOREST BIOMASS WORKSHOP. 1981. Proceedings... [s.l., s.n.], 1981 p. 95 – 112.

SCHNEIDER, P. R. Análise de regressão aplicada à Engenharia florestal. 2 ed. Santa Maria: UFSM/CEPEF, 1998. 236 p.

SCOLFORO, J. R. S. Sistema integrado para a predição e análise presente e futura do crescimento e produção, com otimização de remuneração de capitais, para *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. 1990. 290 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal do Paraná, 1990.

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

SCOLFORO, J. R. Modelos para expressar o crescimento e a produção florestal: Parte 1. Lavras: ESAL / FAEPE, 1994. 182 p.

SCOLFORO, J. R. S. Modelagem de crescimento e da produção de florestas plantadas e nativas. Lavras: UFLA / FAEPE, 1998. 441 p. Curso de Especialização Pós-Graduação "Lato Sensu" por tutoria à distância – Manejo de Florestas Plantadas e Florestas Nativas.

SEIFFERT, N. F. Manejo de leguminosas forrageiras arbustivas de clima tropical. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 9., 1988, Piracicaba. Anais... FEALQ, 1988. p. 285 – 314.

SEIFFERT, N. F.; THIAGO, R. L. **Legumineira: cultura forrageira para a produção de proteína.** Campo Grande: EMBRAPA – CNPGC, 1983. 52 p. (EMBRAPA – CNPGC. Circular técnica, 13).

SILVA, I. P.; SILVA, J. A. A. **Métodos estatísticos aplicados à pesquisa científica: uma abordagem para profissionais da pesquisa agropecuária.** Recife: UFRPE, 1999. 305 p.

SILVA, J. A. A. **Dynamics of stand structure in fertilized slash pine plantations.** 1986, 133p. Thesis (Doctor of Philosophy) - University of Georgia, Athens.

SILVA, J. A. A.; BAILEY, R. L. O uso de transformações normalizadoras no ajuste de modelos volumétricos. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 15, n. 2, p. 199 – 206, 1991.

SILVA, J. A. A.; SILVA, I. P. **Estatística experimental aplicada à Ciência Florestal.** Recife: UFRPE, 1982. 291 p.

SKERMAN, P. J. **Tropical forage legumes.** Rome: FAO, 1977. 610 p.

SPATHELF, P.; NUTTO, L. **Modelagem aplicada ao Crescimento e produção florestal.** Santa Maria: UFSM, 2000. 70 p.

SOUZA, A.A. **Possibilidades de uso da leucena *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. como alimento suplementar para ruminantes nas condições do Nordeste brasileiro.** Fortaleza: UFC, 1991. 51 p.

SOUZA, C. M. de **Avaliação do crescimento em altura de leucena *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit., no Agreste de Pernambuco, por meio da análise multivariada de medidas repetidas.** 2003. 123 f. Dissertação (Mestrado em Biometria) –Universidade federal Rural de Pernambuco, Recife.

SPURR, S. H. **Forest inventory**. New York: Ronald Press, 1952. 476 p.

VIEIRA, M. E. Q. **O feno de leucena *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit., como ingrediente não ortodoxo de rações para frangos de corte**. Recife: UFRPE, 1992. 184 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 1992.

VILELA, E.; PEDREIRA, J. V. S. Efeitos de densidade de semeadura e níveis de adubação nitrogenada no estabelecimento de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. **Boletim da Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 33, n. 2, p. 251 – 280, 1976.

APÊNDICE

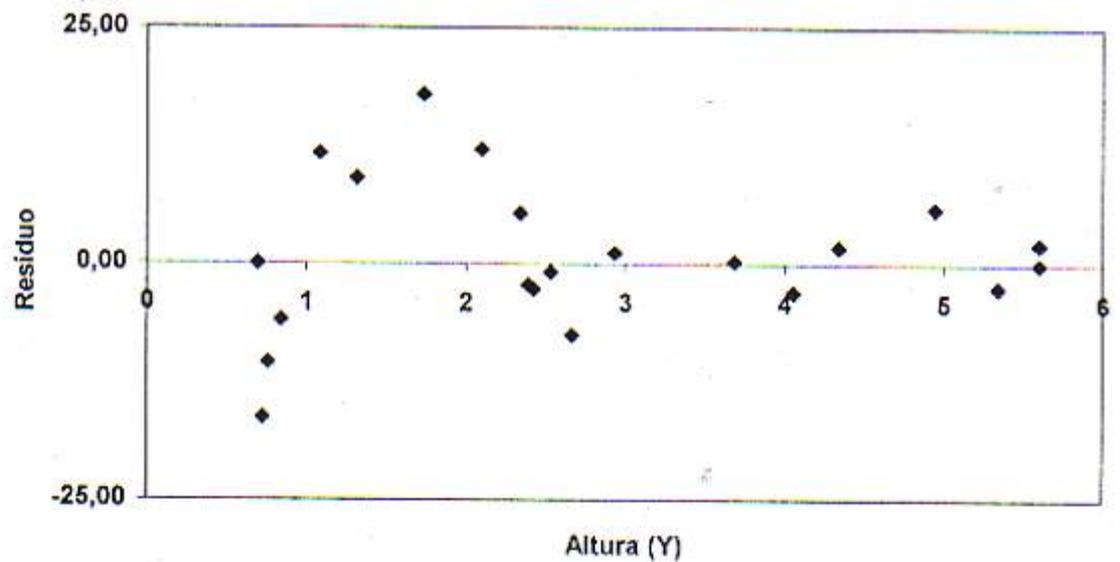


Figura 9 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação a altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 112.

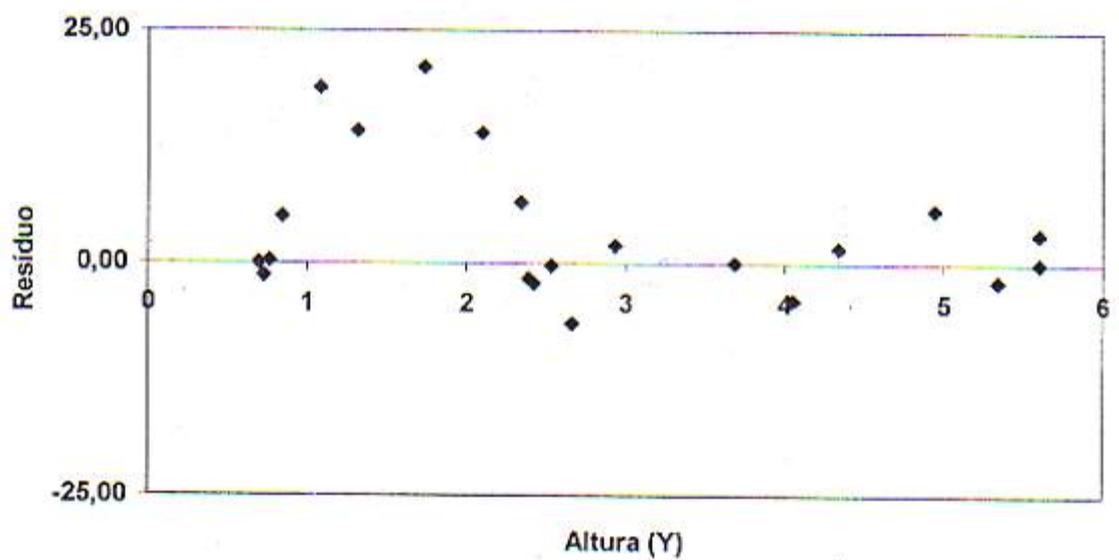


Figura 10 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação a altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 112.

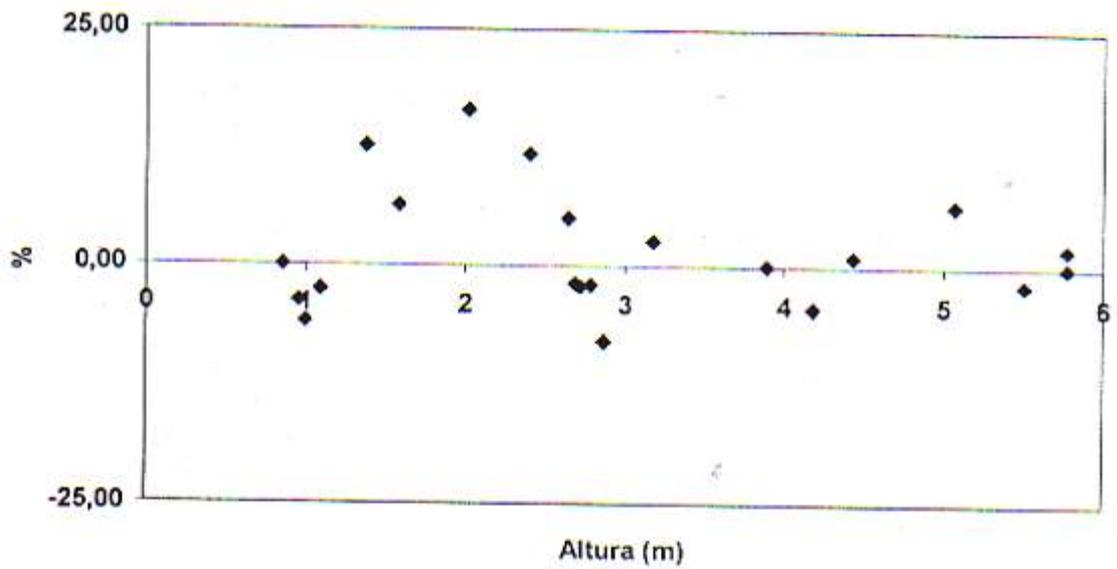


Figura 11 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação a altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 113.

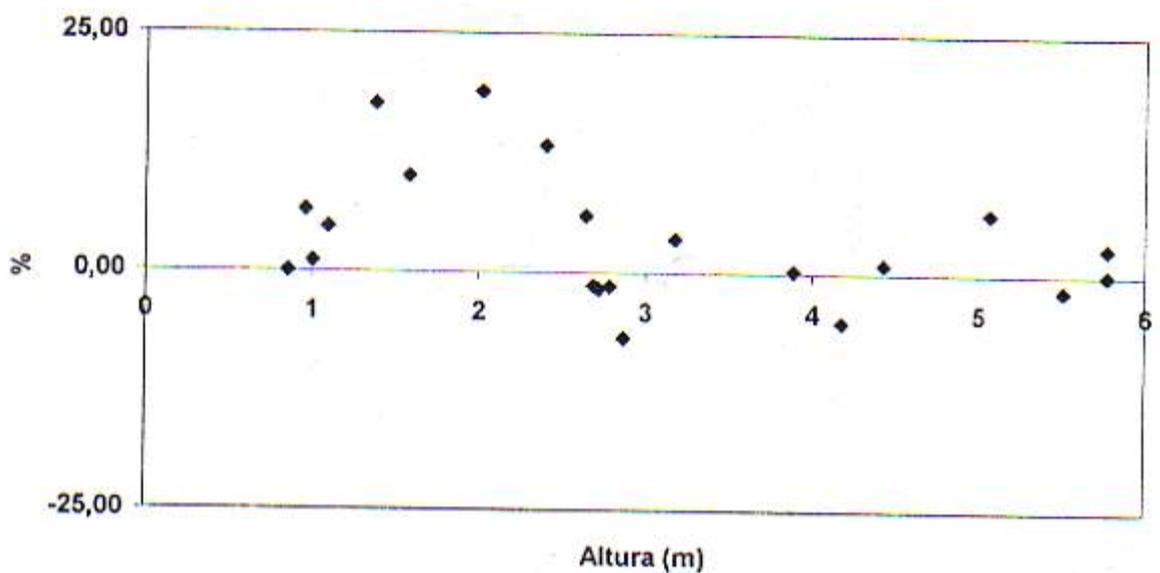


Figura 12 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 113.

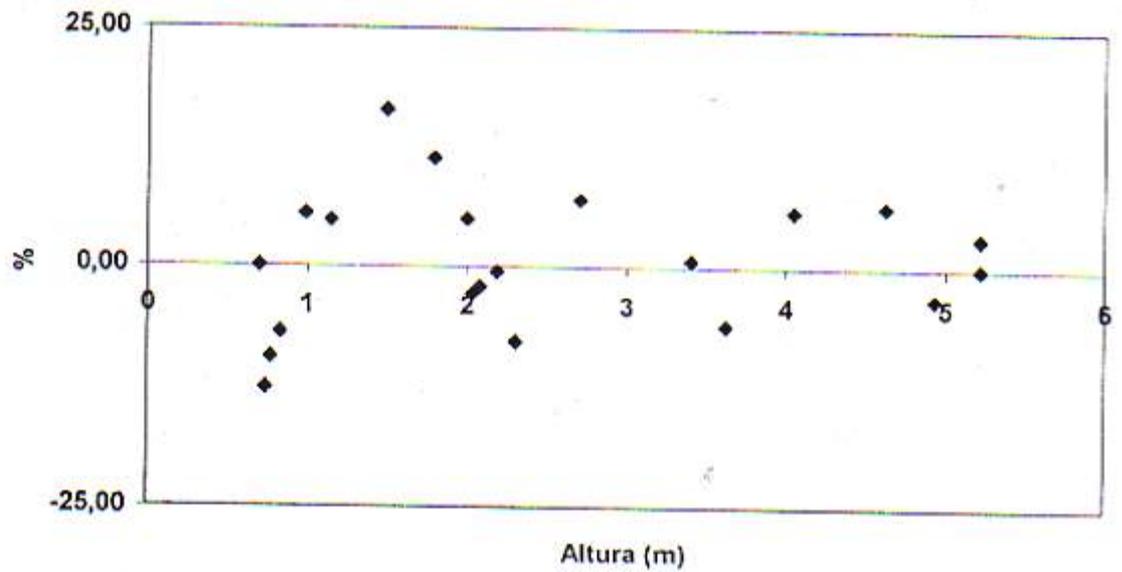


Figura 13 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação a altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 121.

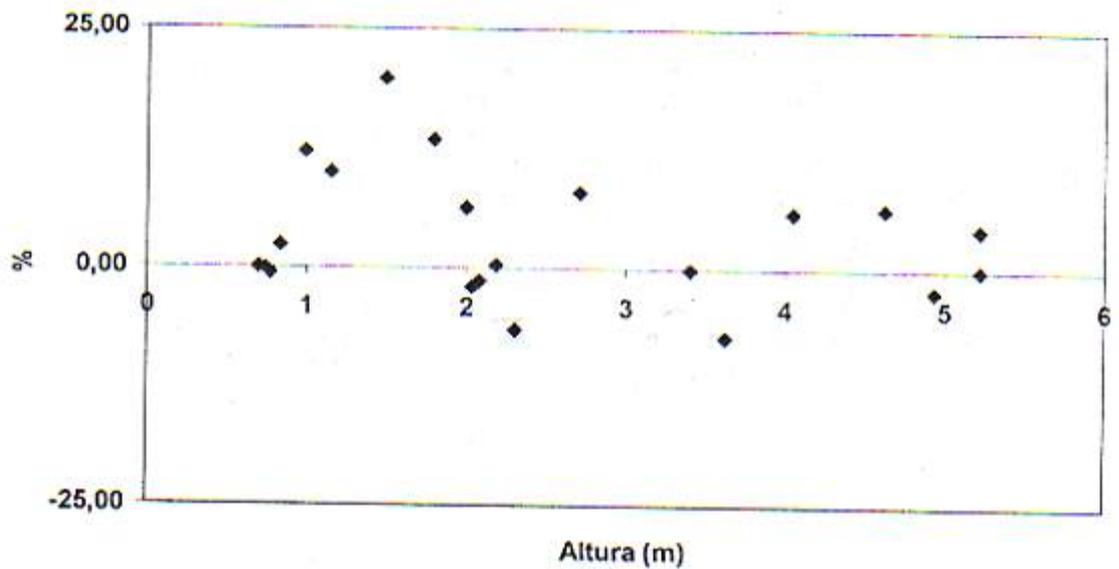


Figura 14 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 121.

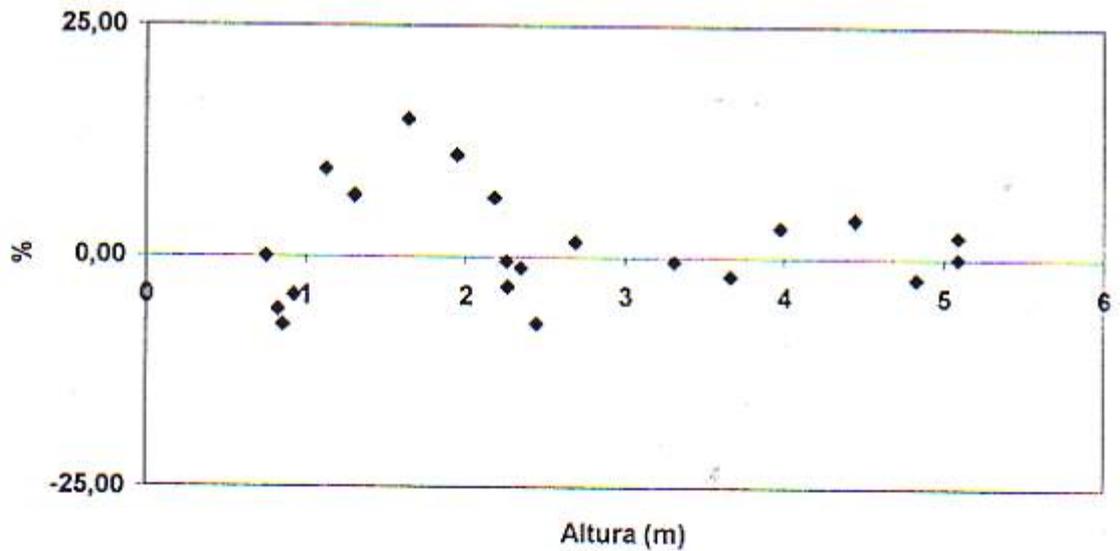


Figura 15 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação a altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 122.

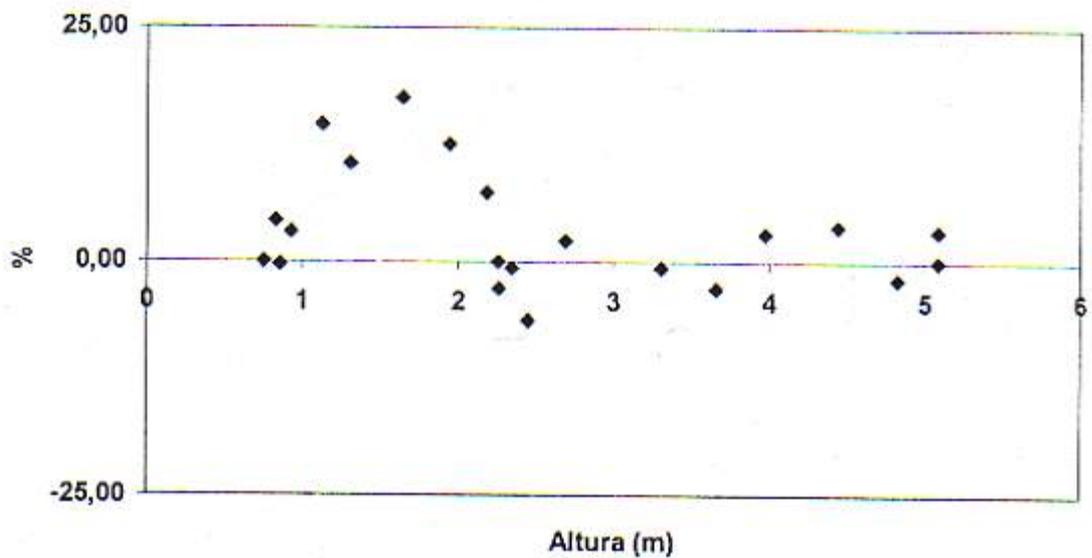


Figura 16 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 122.

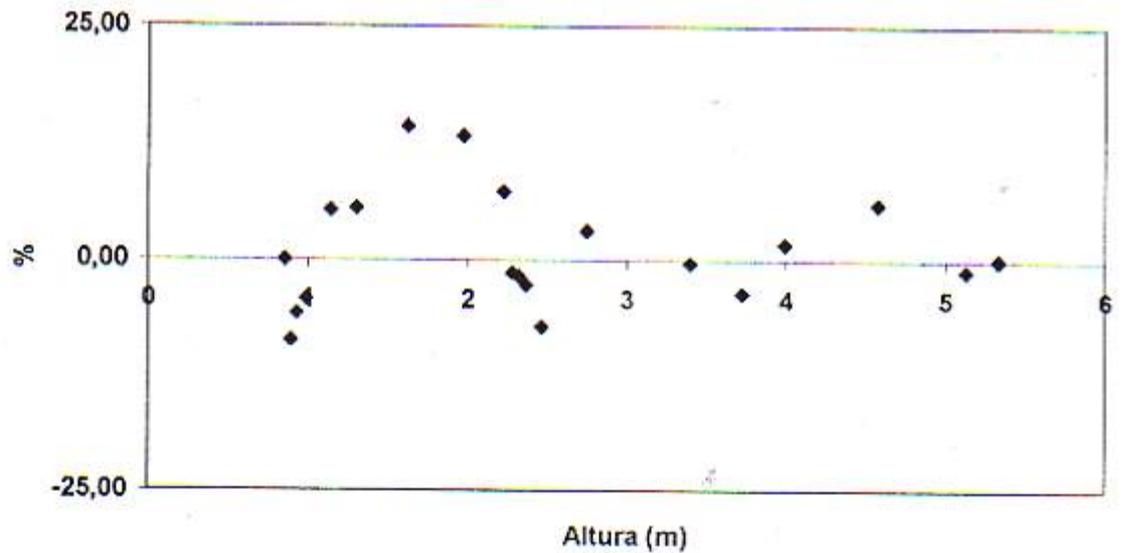


Figura 17 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação a altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 123.

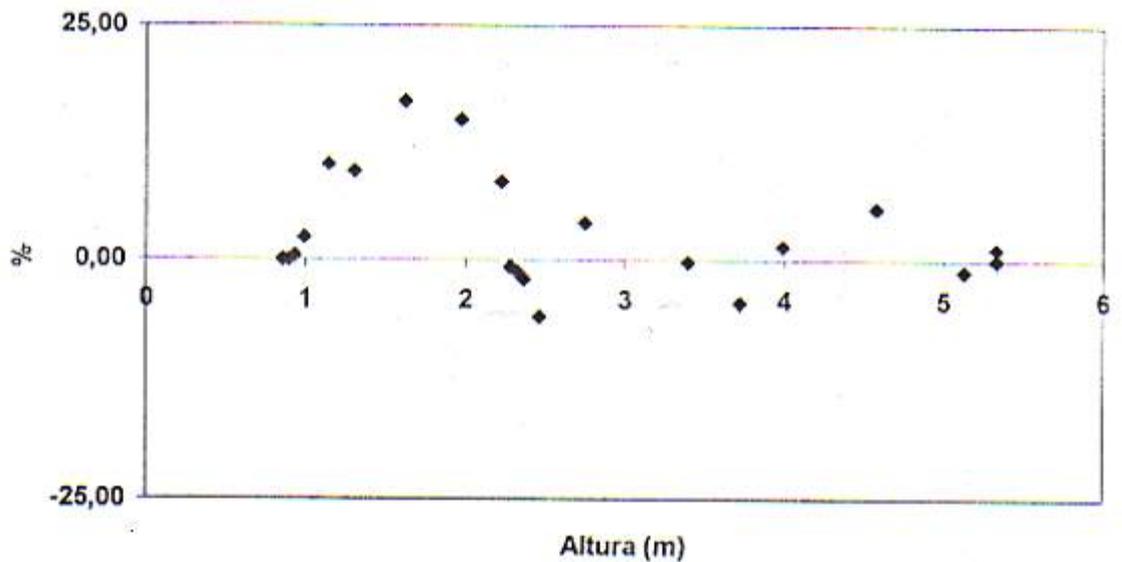


Figura 18 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 123.

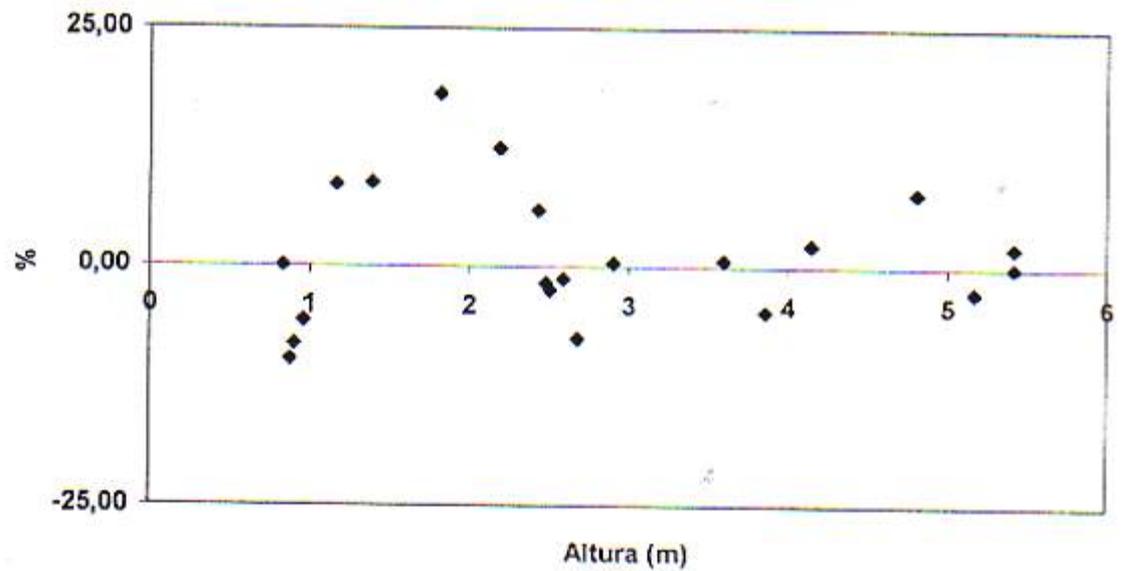


Figura 19 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação a altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 131.

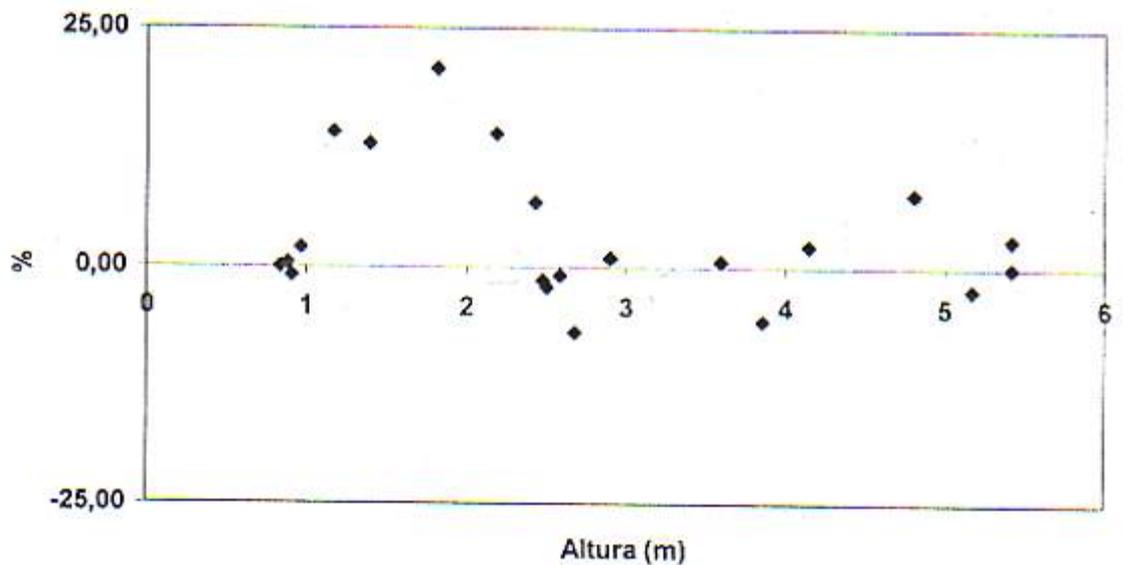


Figura 20 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 131.

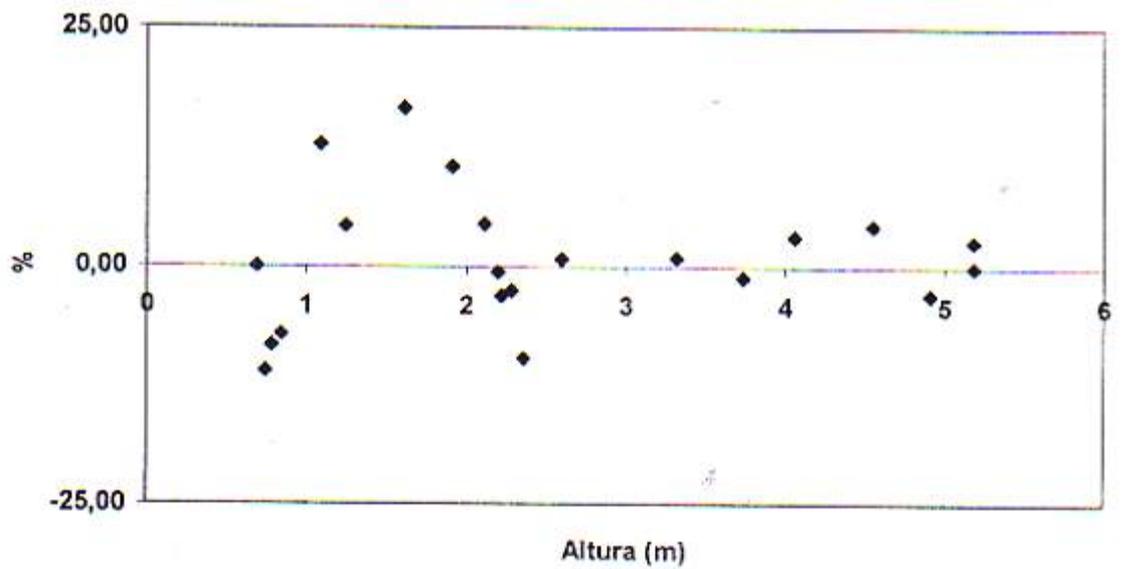


Figura 21 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação a altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 132.

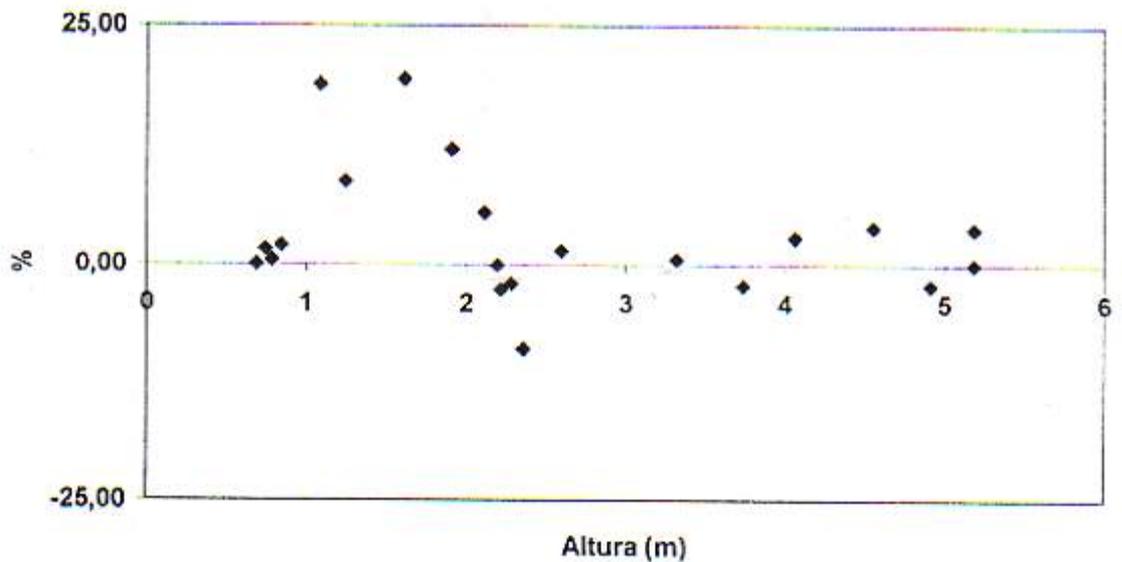


Figura 22 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 132.

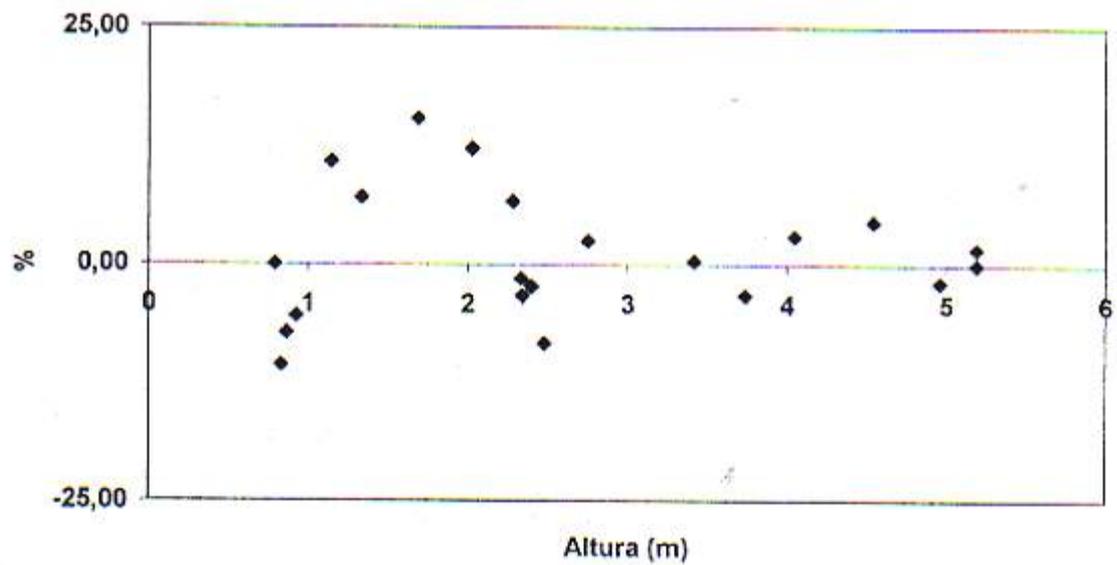


Figura 23 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação a altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 133.

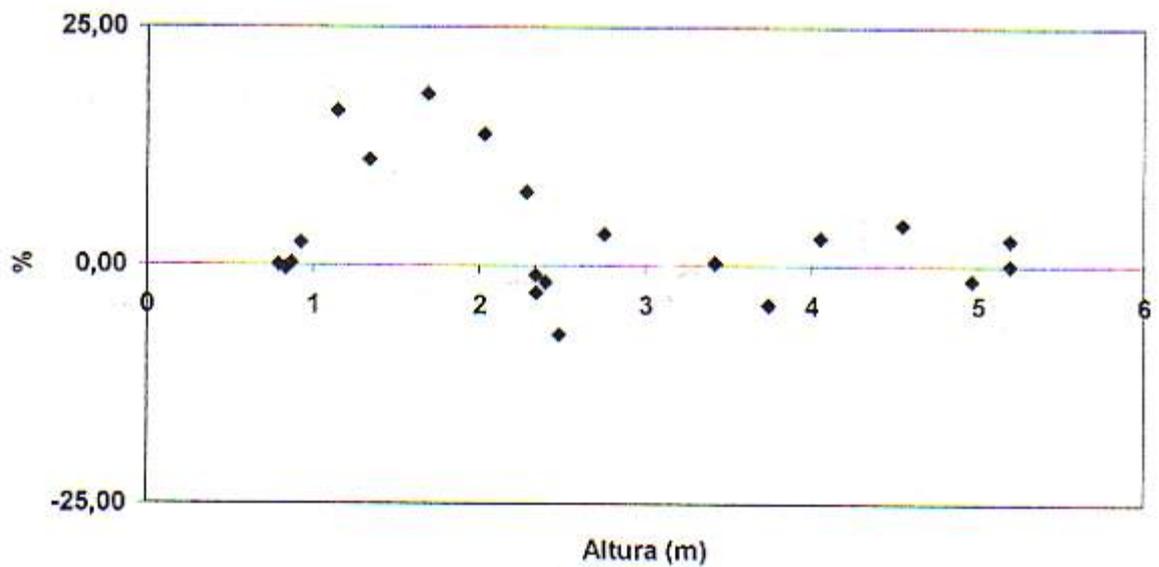


Figura 24 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 133.

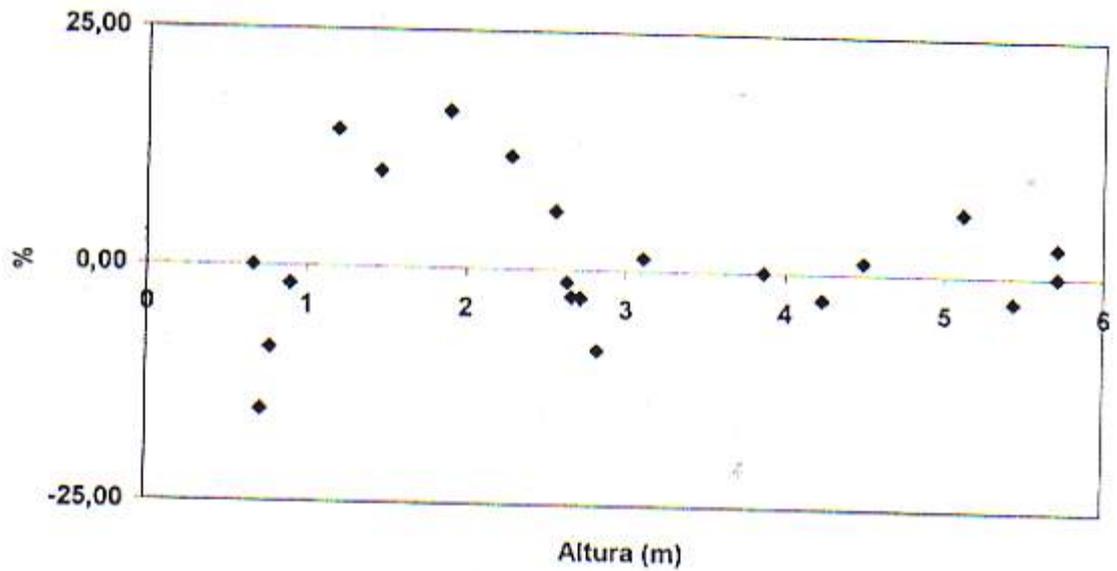


Figura 25 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação a altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 141.

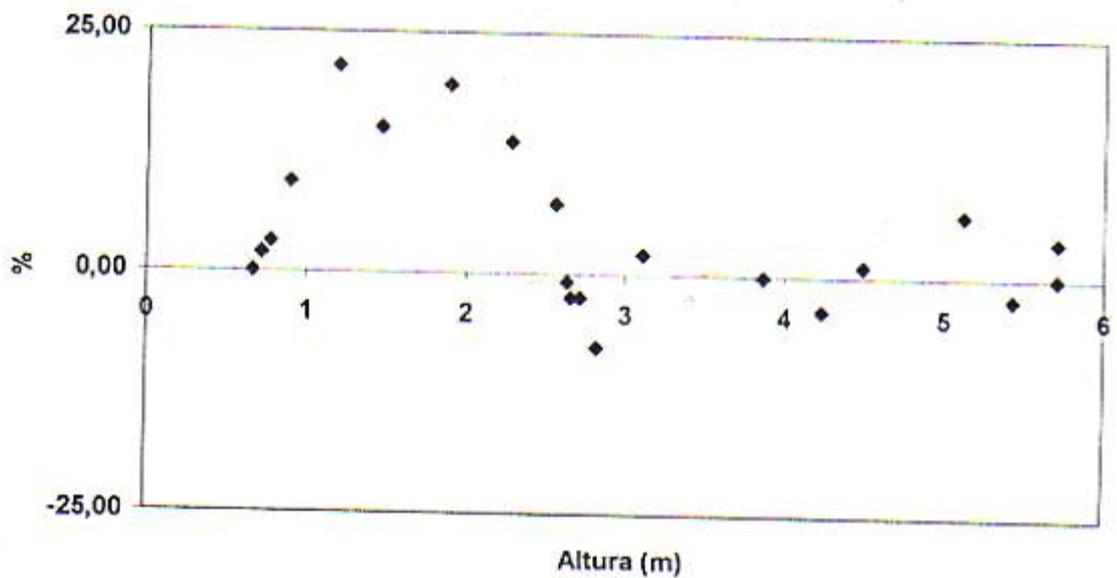


Figura 26 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 141.

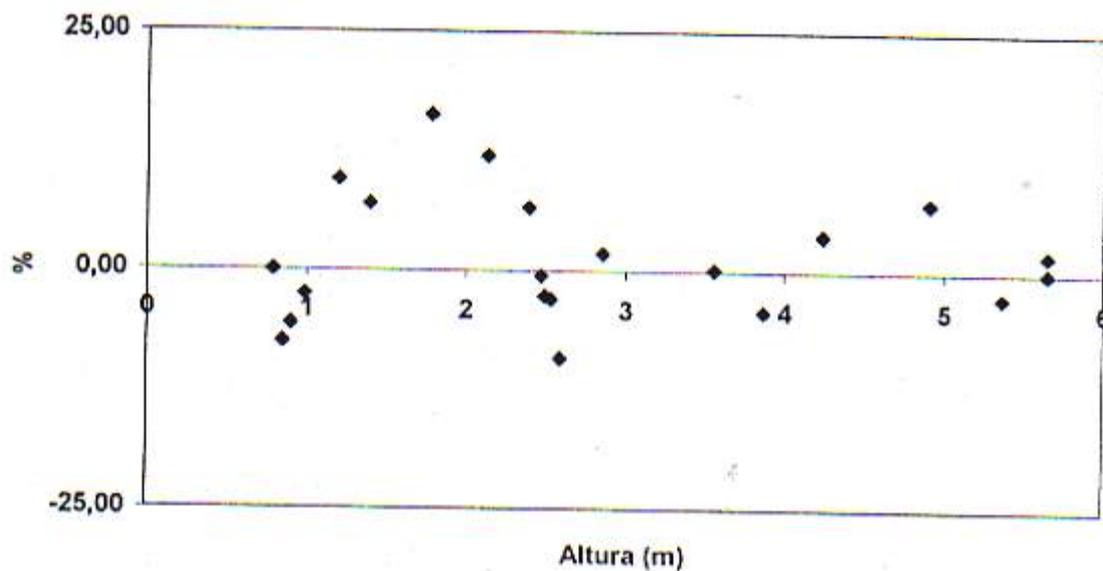


Figura 27 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação a altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 142.

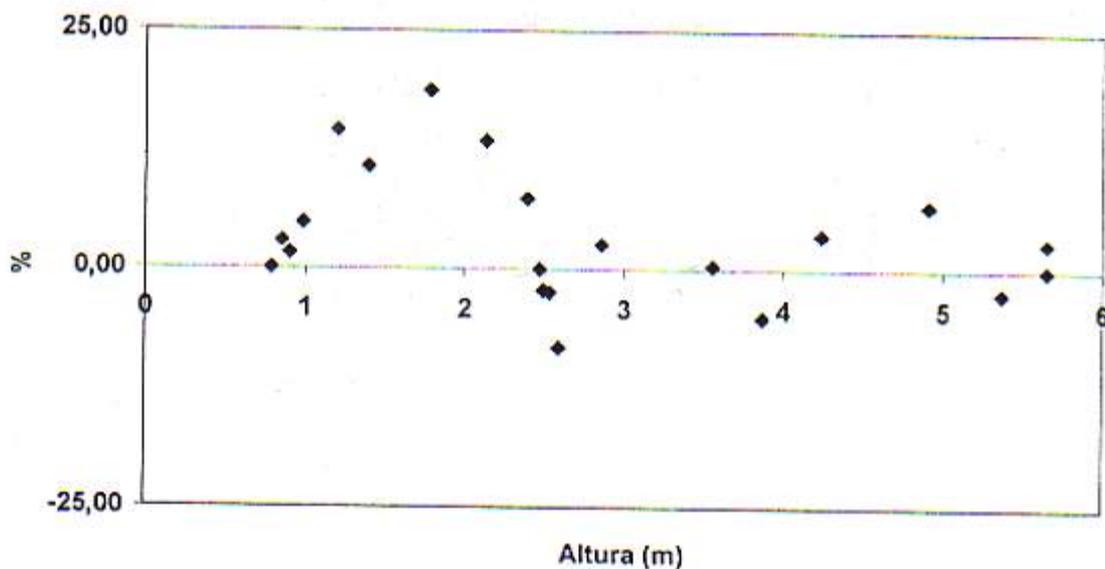


Figura 28 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 142.

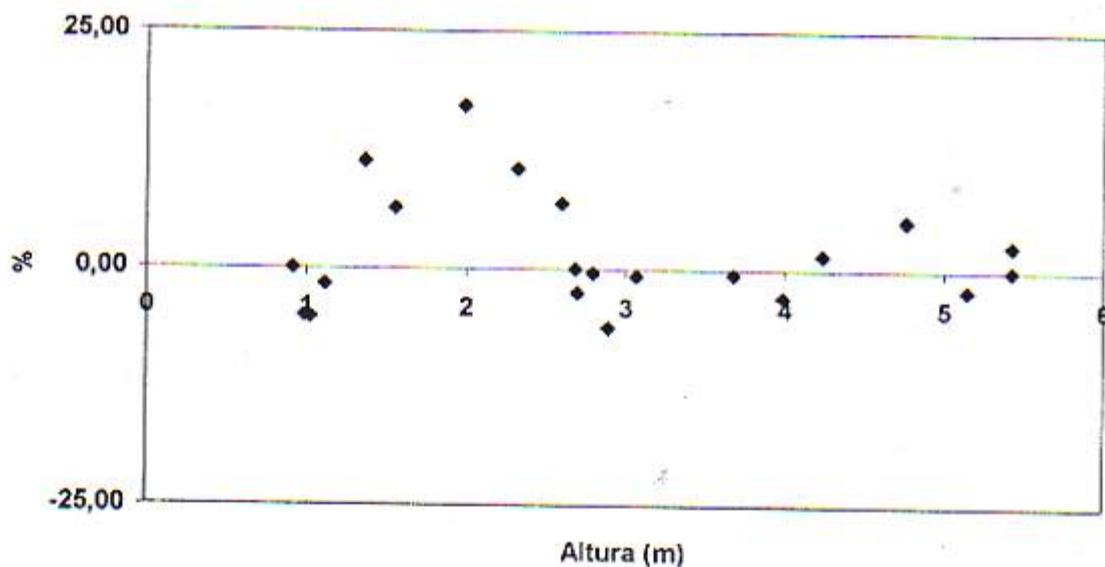


Figura 29 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação a altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 143.

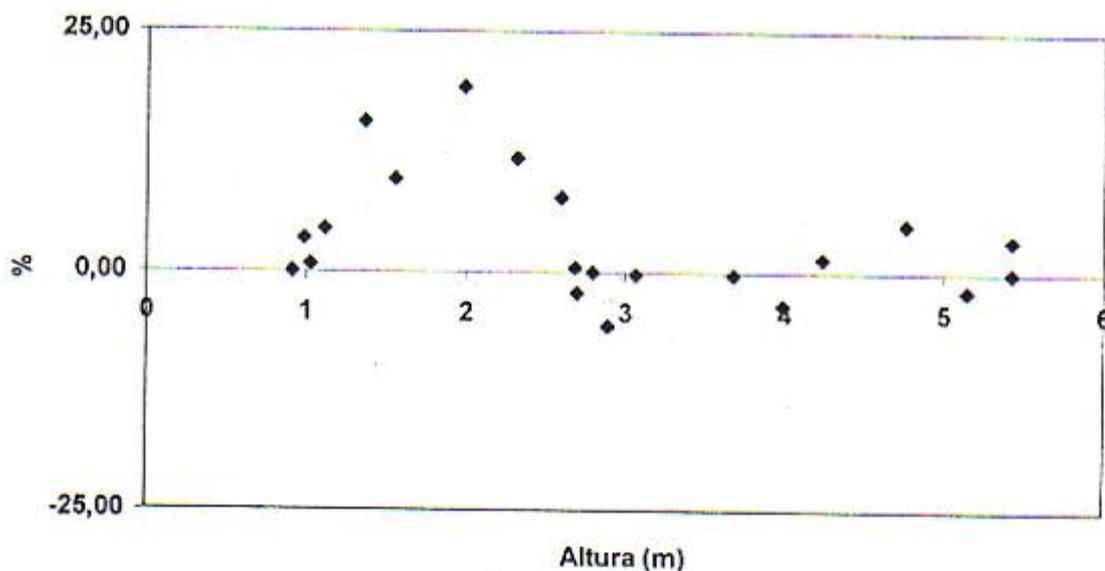


Figura 30 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 143.

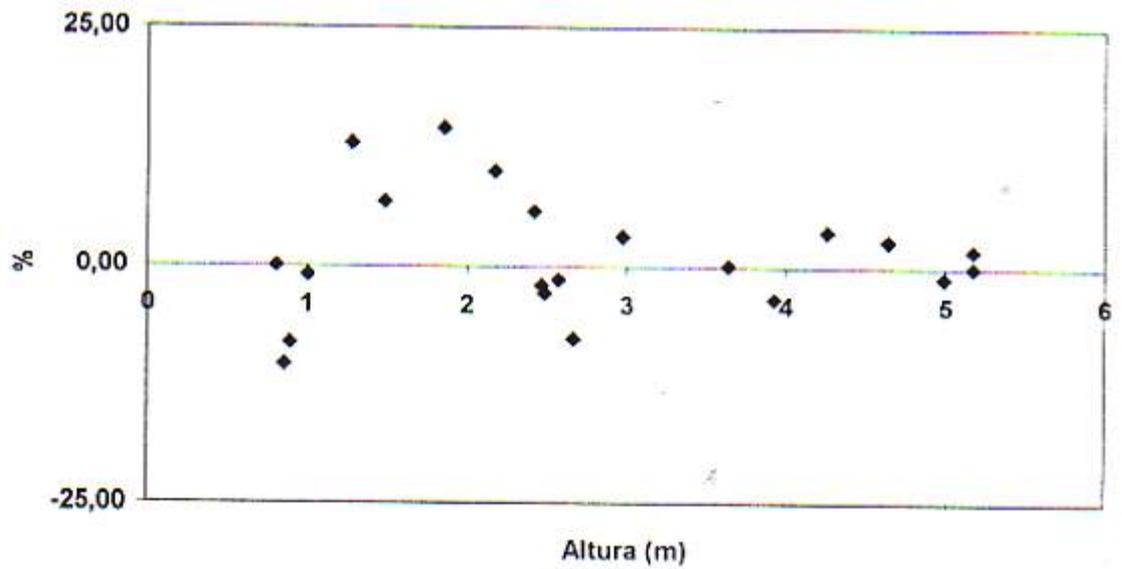


Figura 31 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação a altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 211.

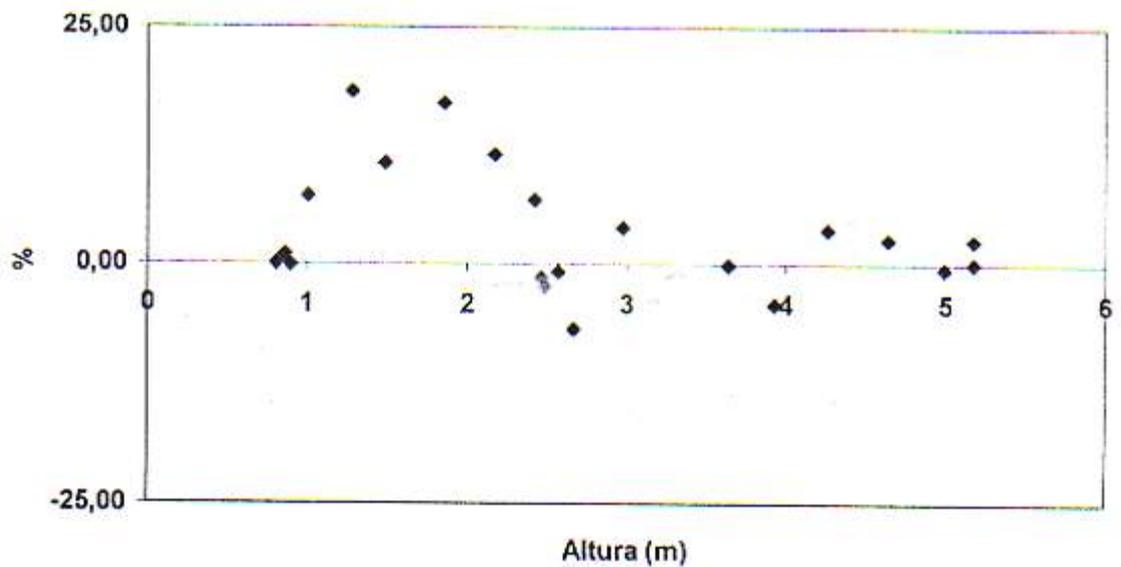


Figura 32 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 211.

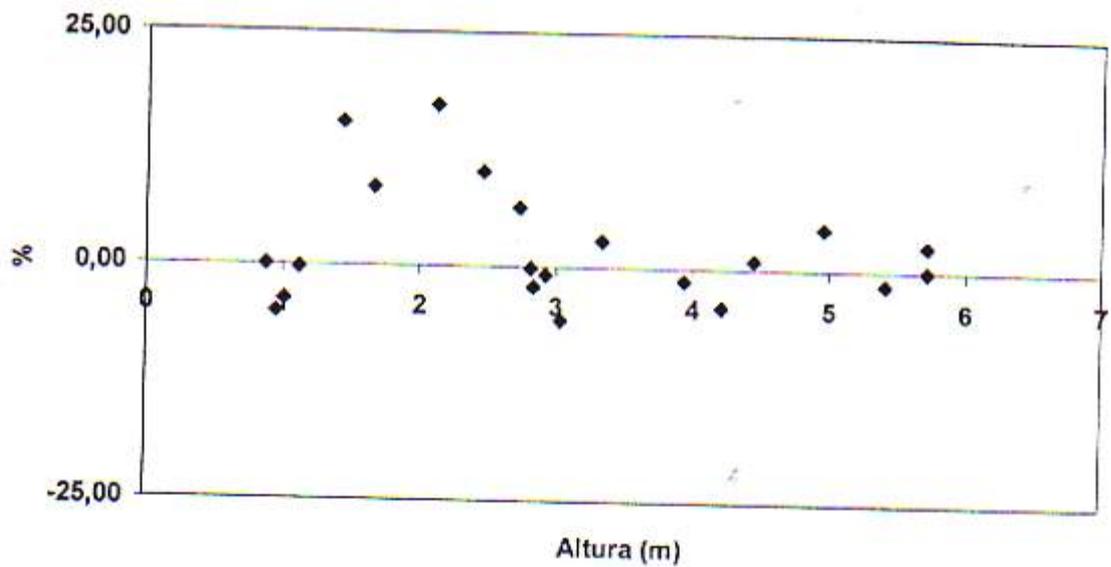


Figura 33 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação a altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 212.

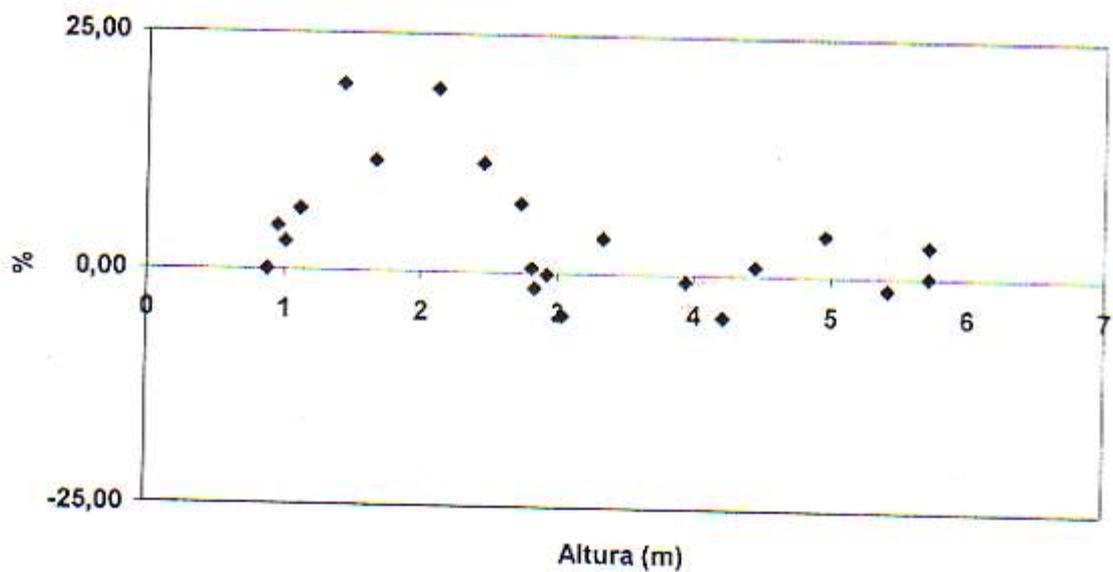


Figura 34 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 212.

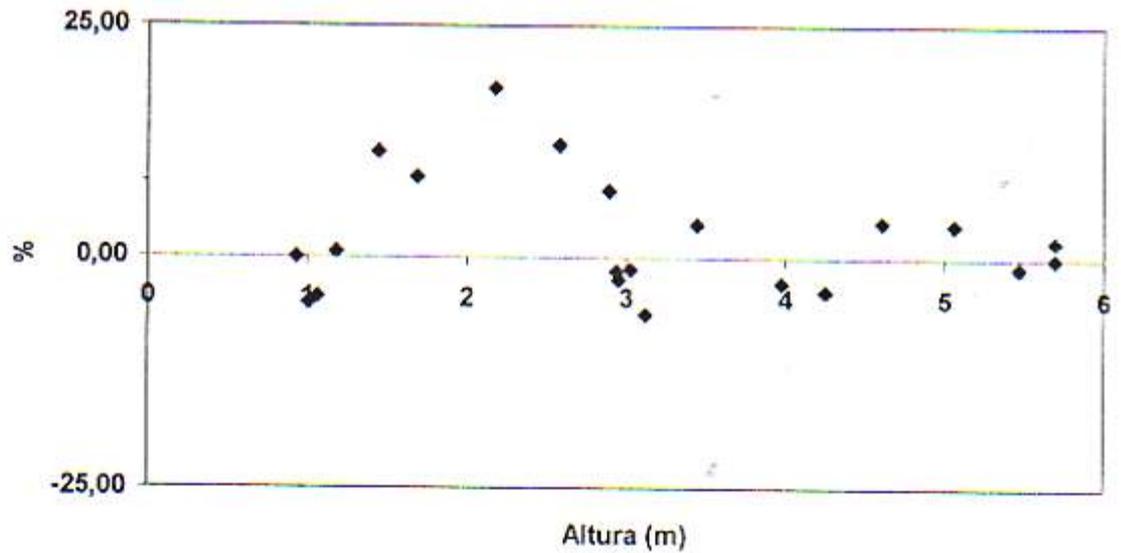


Figura 35 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação a altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 213.

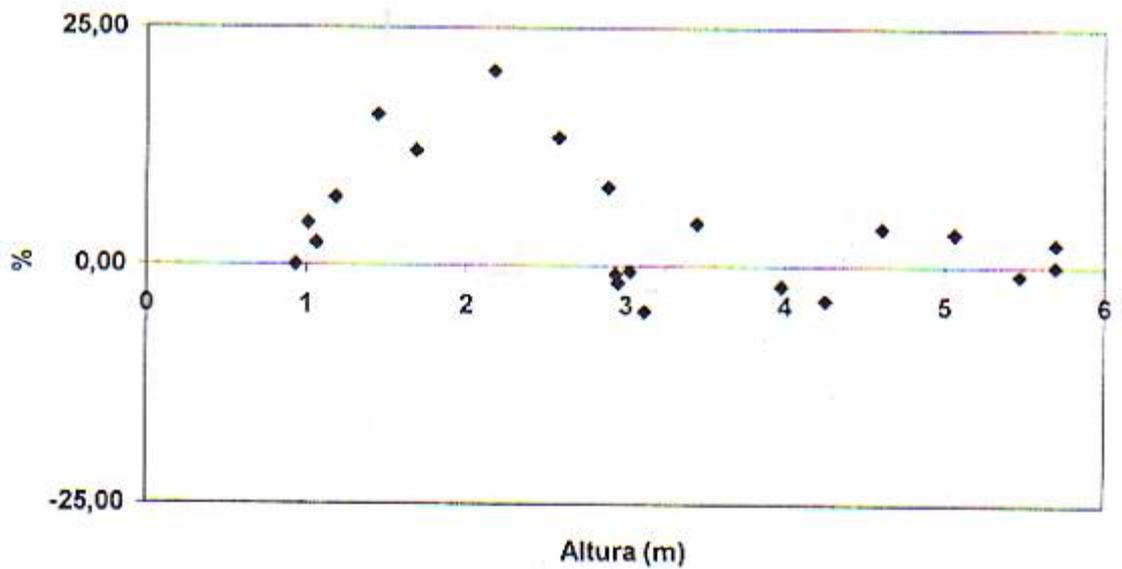


Figura 36 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 213.

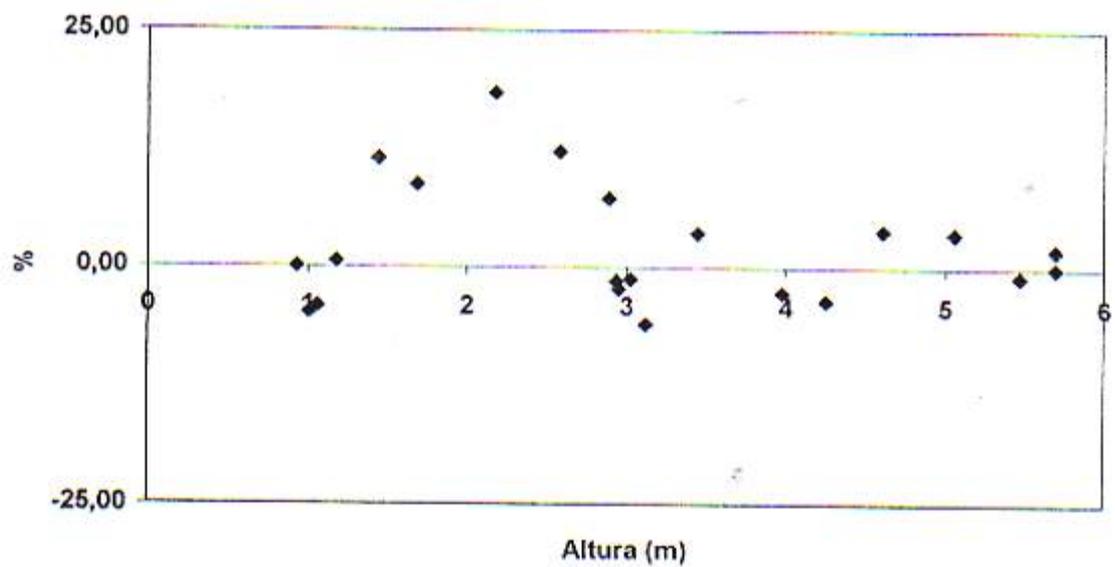


Figura 37 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação a altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 221.

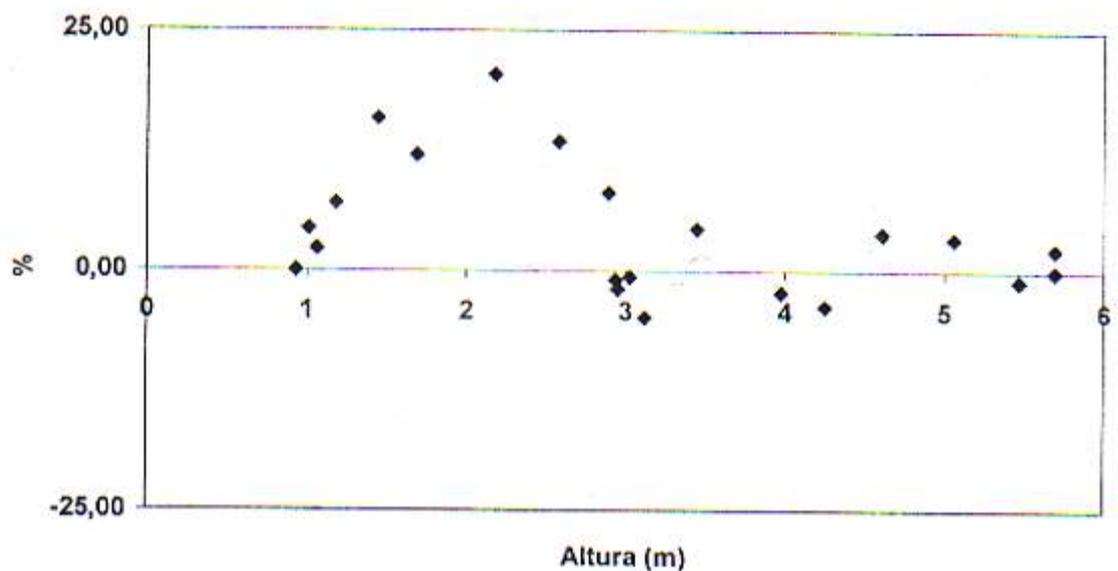


Figura 38 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 221.

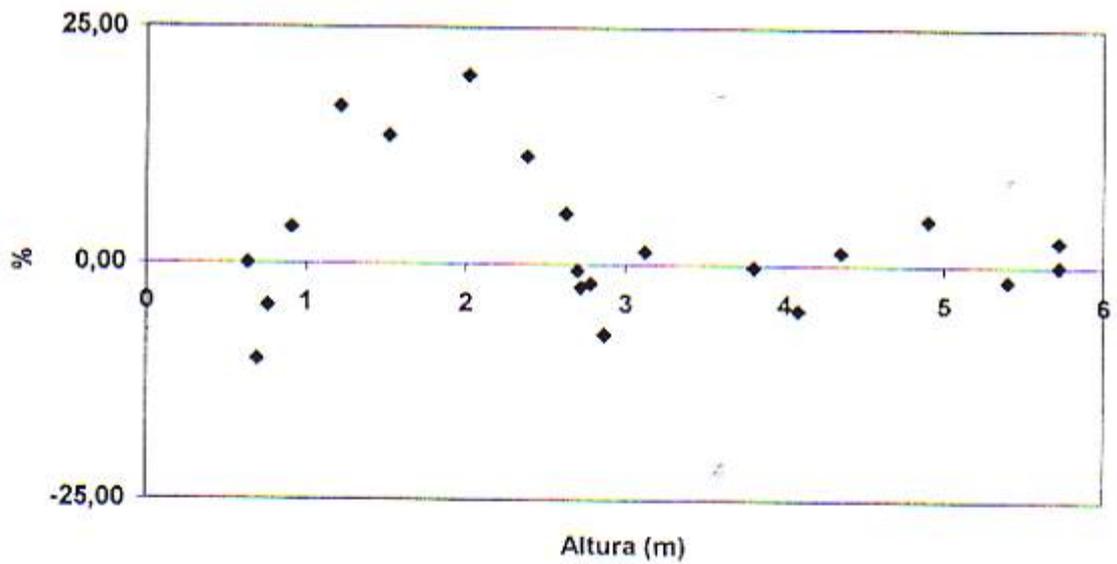


Figura 39 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação a altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 222.

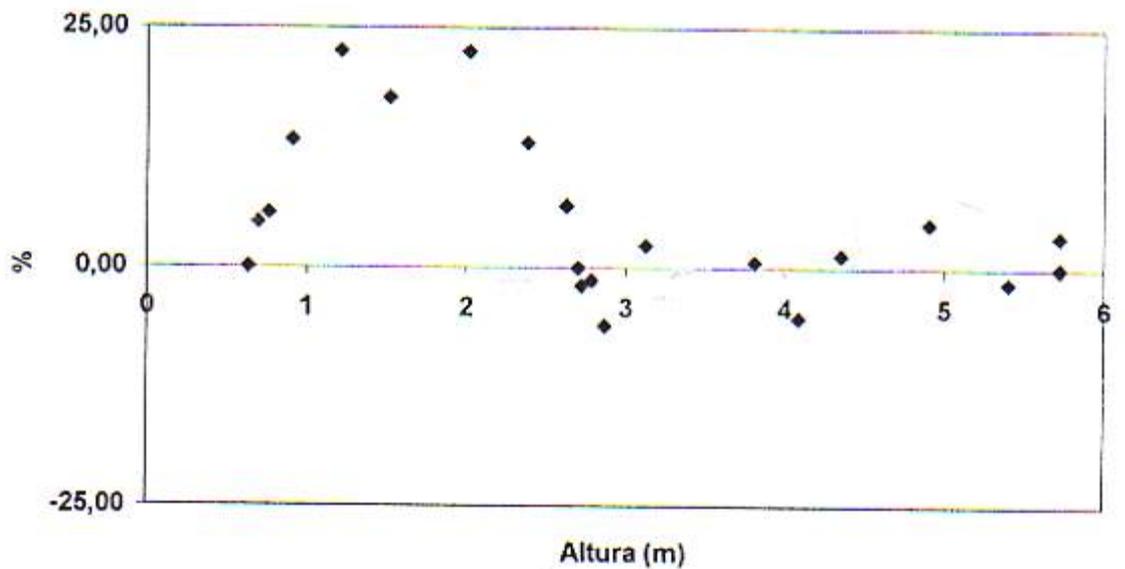


Figura 40 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 222.

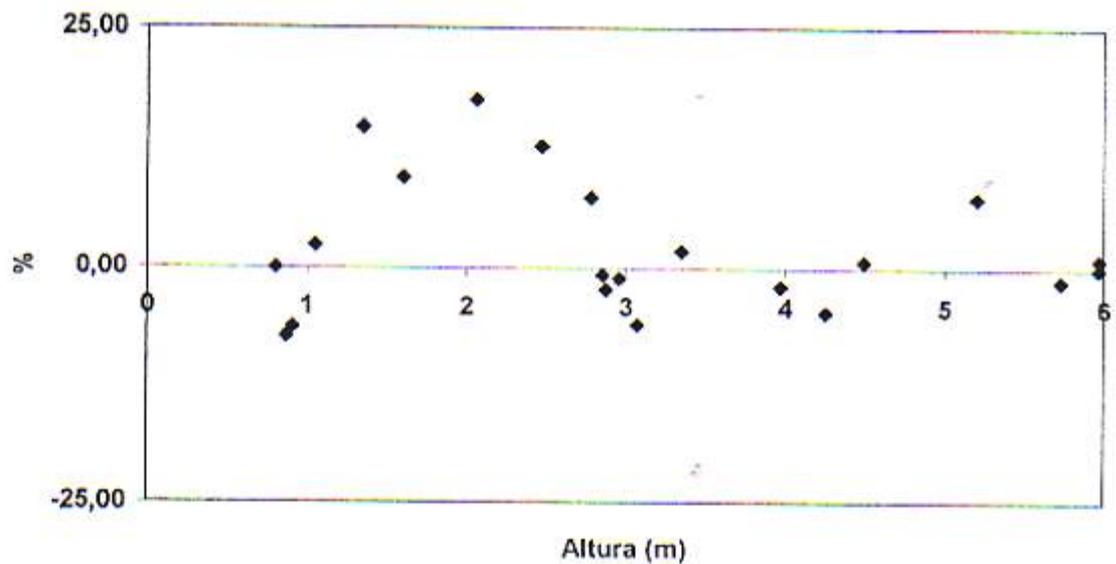


Figura 41 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação a altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 223.

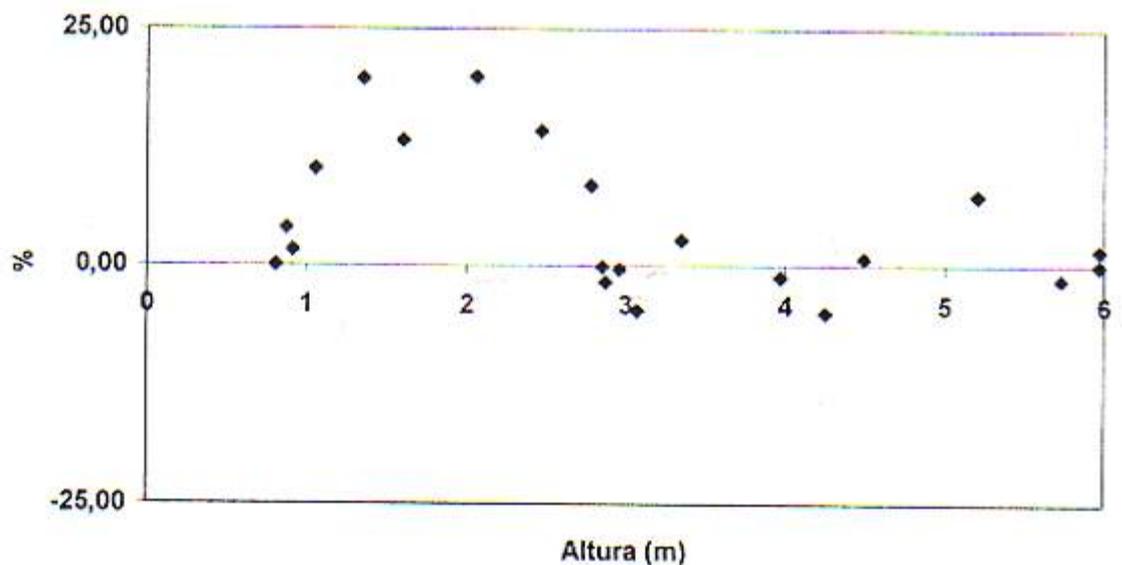


Figura 42 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 223.

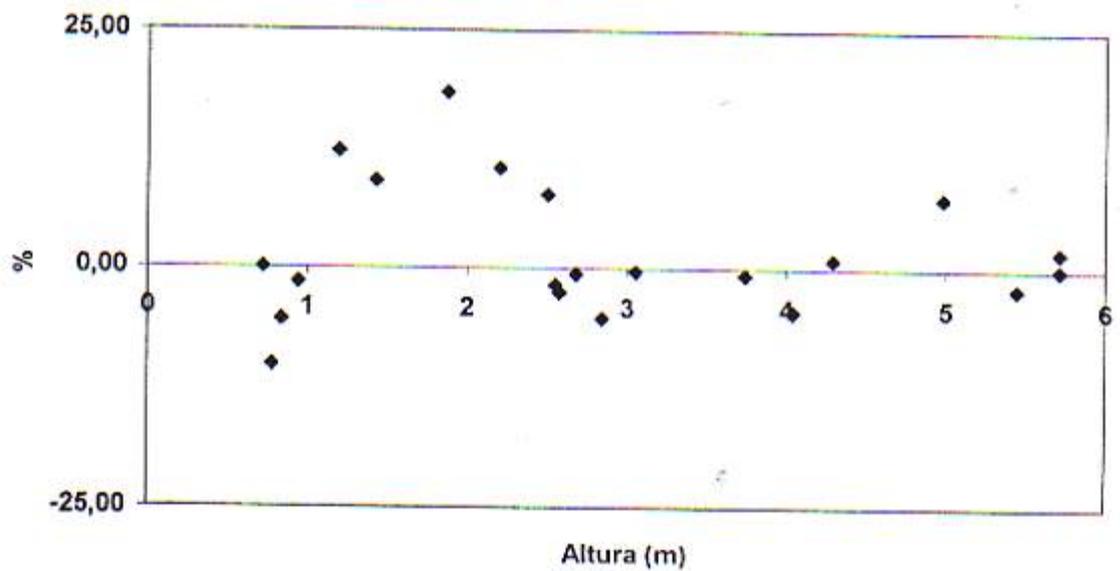


Figura 43 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação a altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 231.

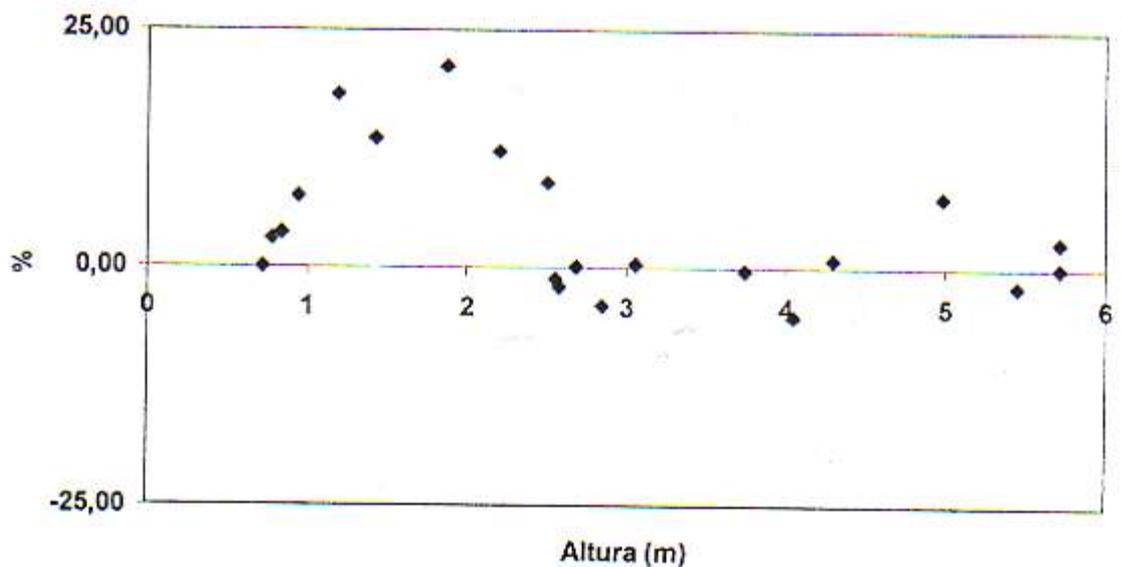


Figura 44 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 231.

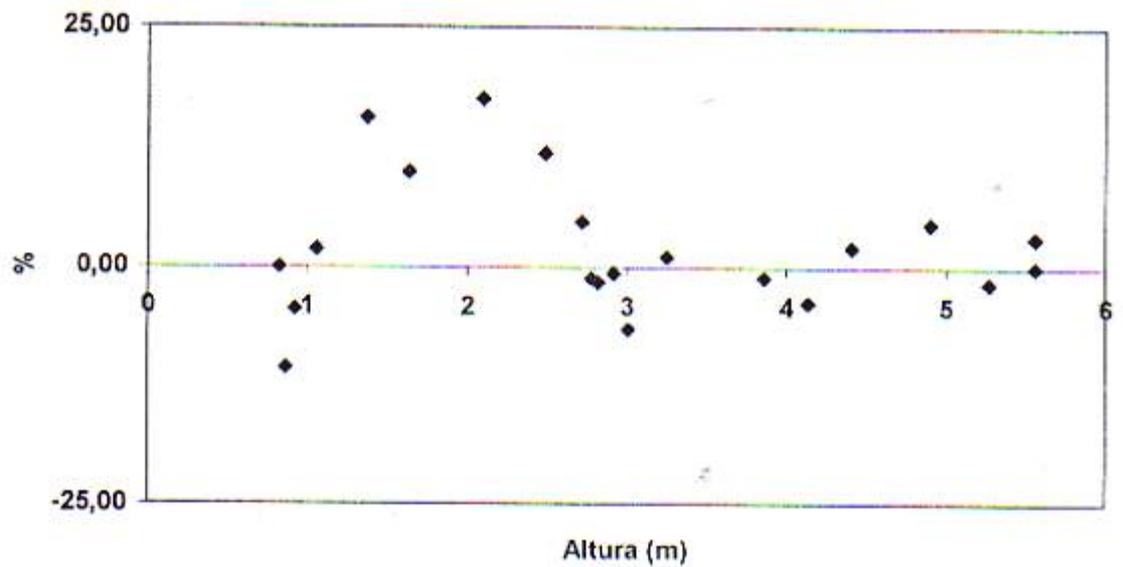


Figura 45 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação a altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 232.

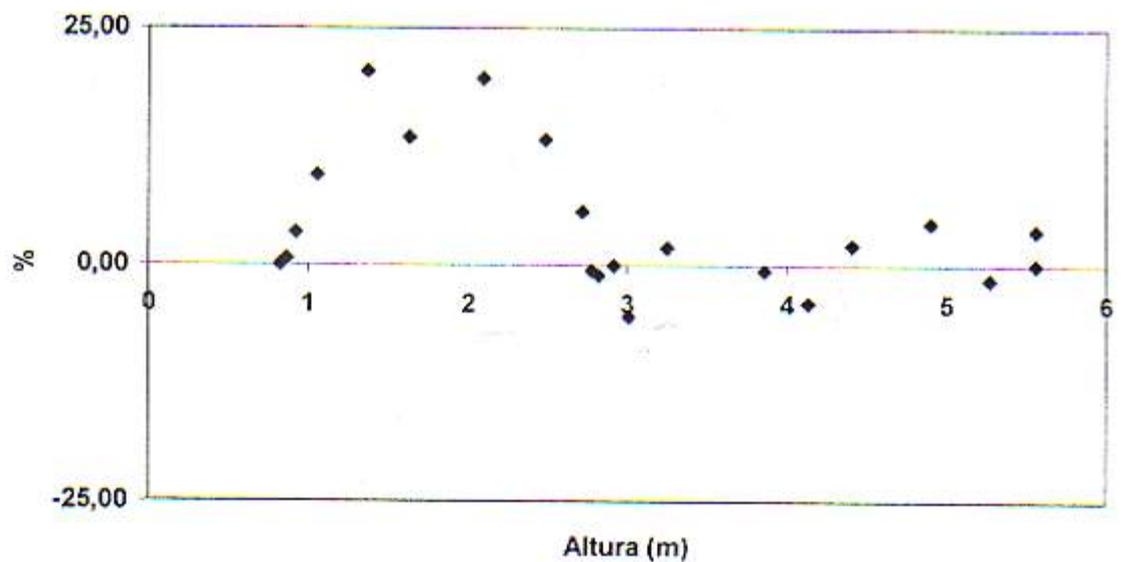


Figura 46 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 232.

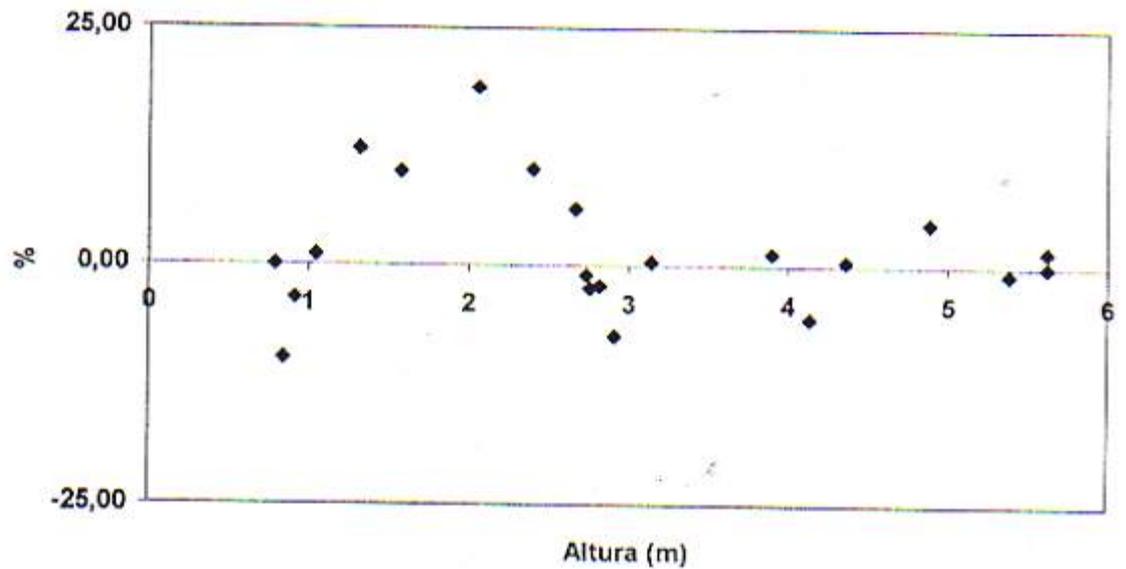


Figura 47 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação a altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 233.

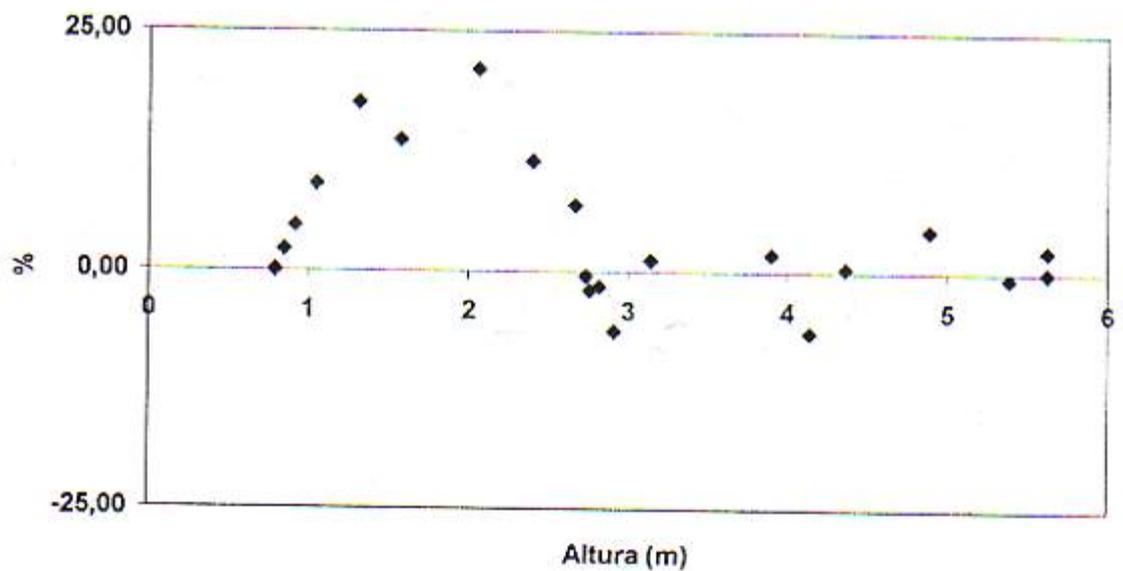


Figura 48 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 233.

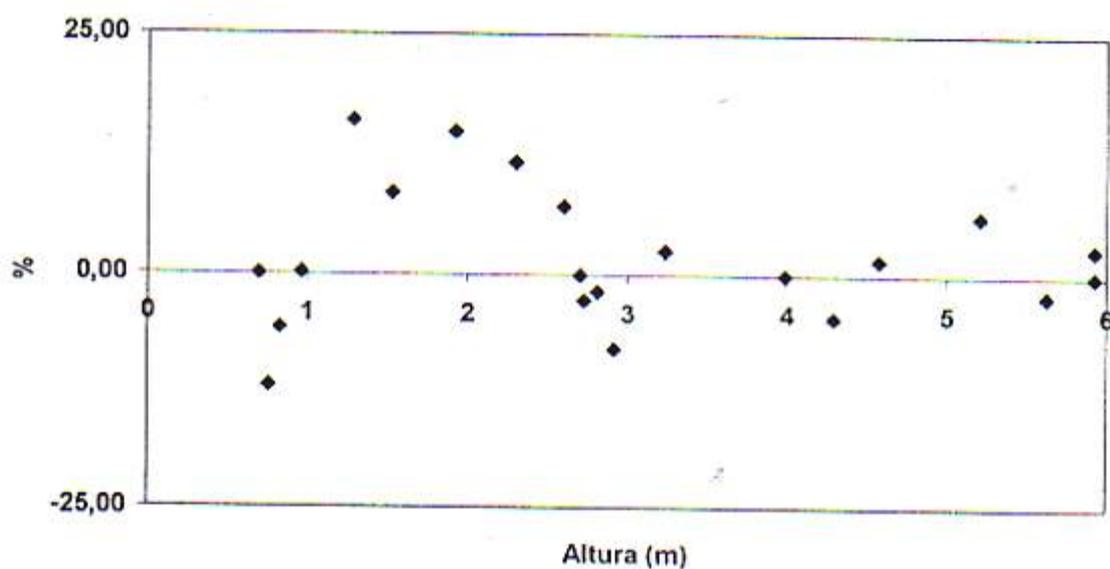


Figura 49 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação a altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 241.

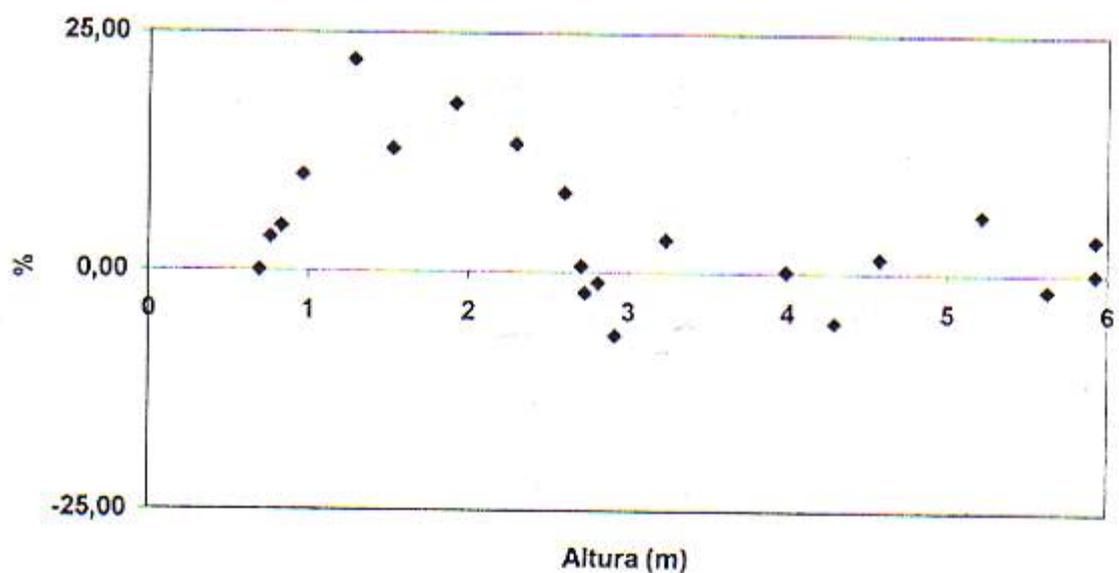


Figura 50 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 241.

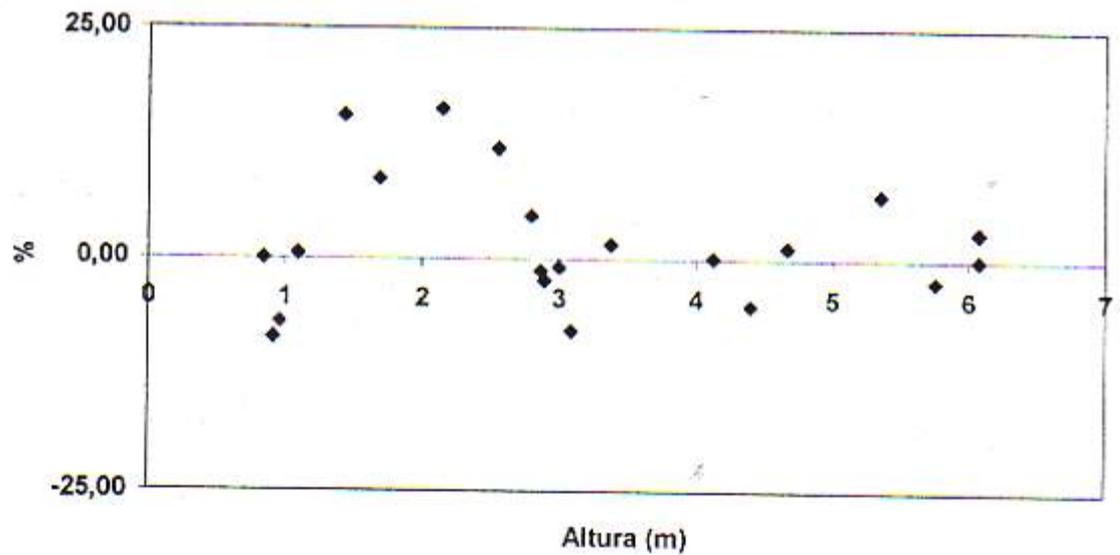


Figura 51 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação a altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 242.

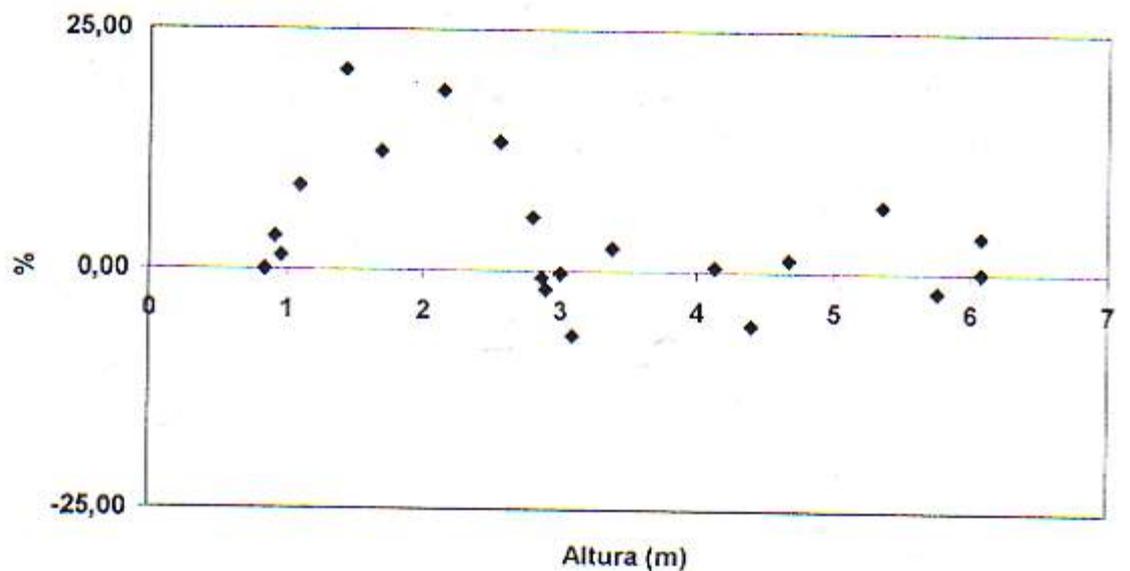


Figura 52 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 242.

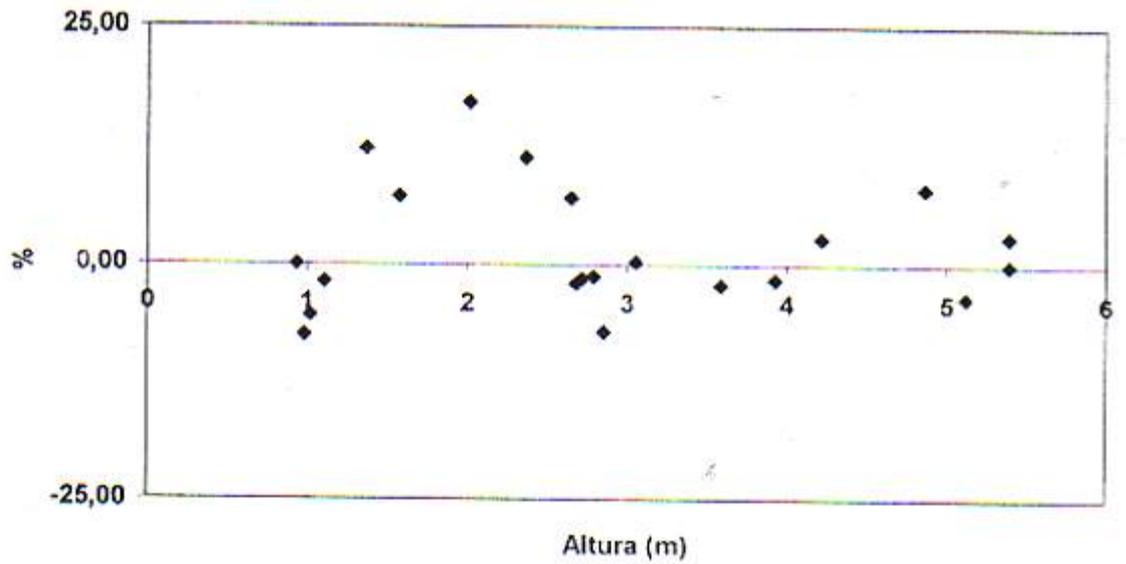


Figura 53 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação a altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Brody para o tratamento 243.

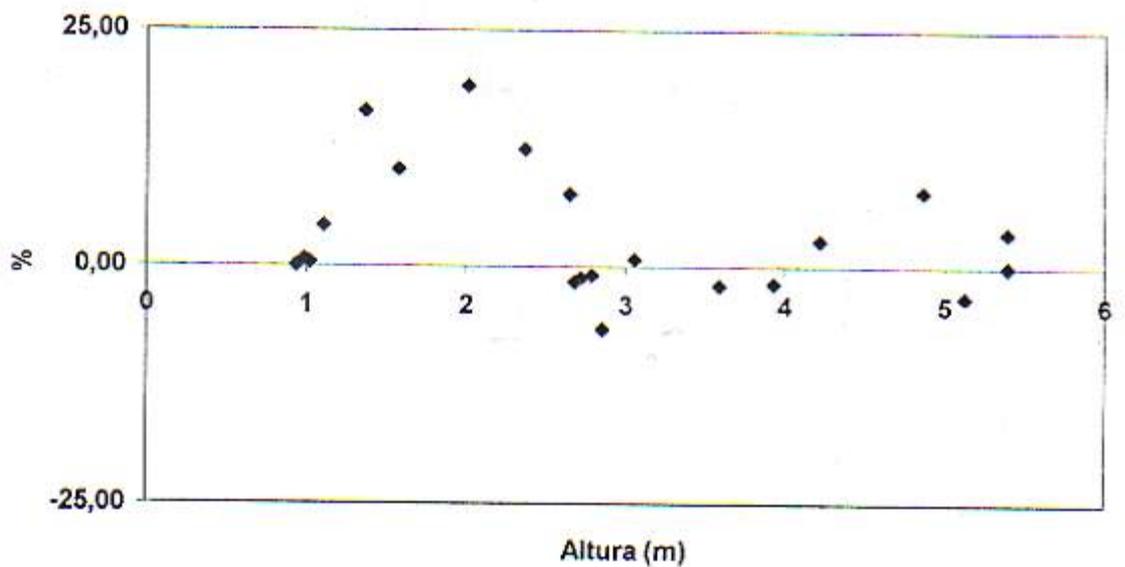


Figura 54 – Distribuição gráfica dos resíduos percentuais, em relação à altura, para a estimativa de crescimento de leucena, obtidas com o modelo de Silva-Bailey para o tratamento 243.

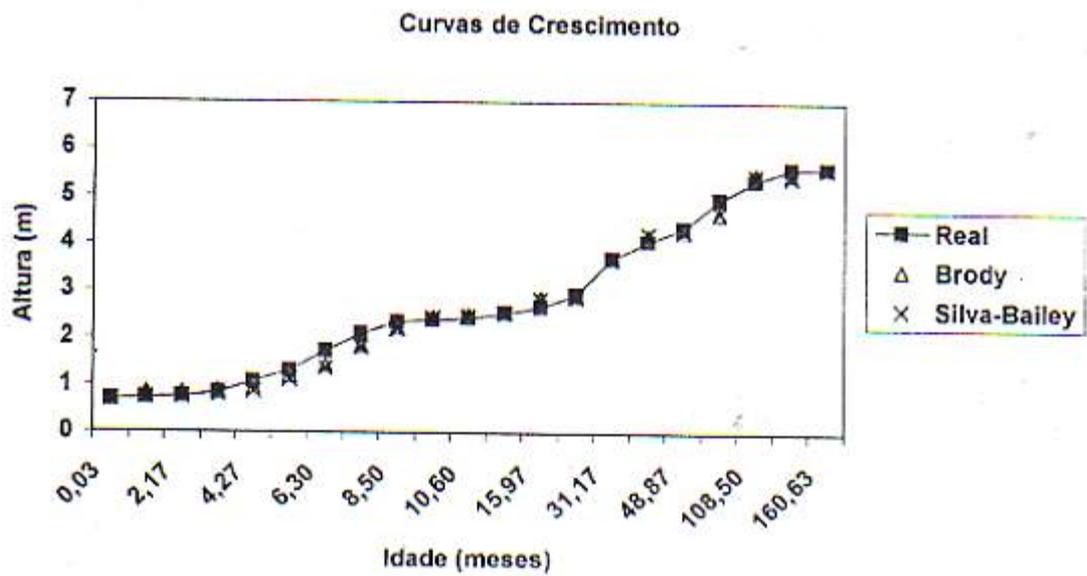


Figura 55 – Curva de crescimento real e estimadas pelos modelos de Brody e Silva-bailey, para a leucena, no tratamento 112, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE.

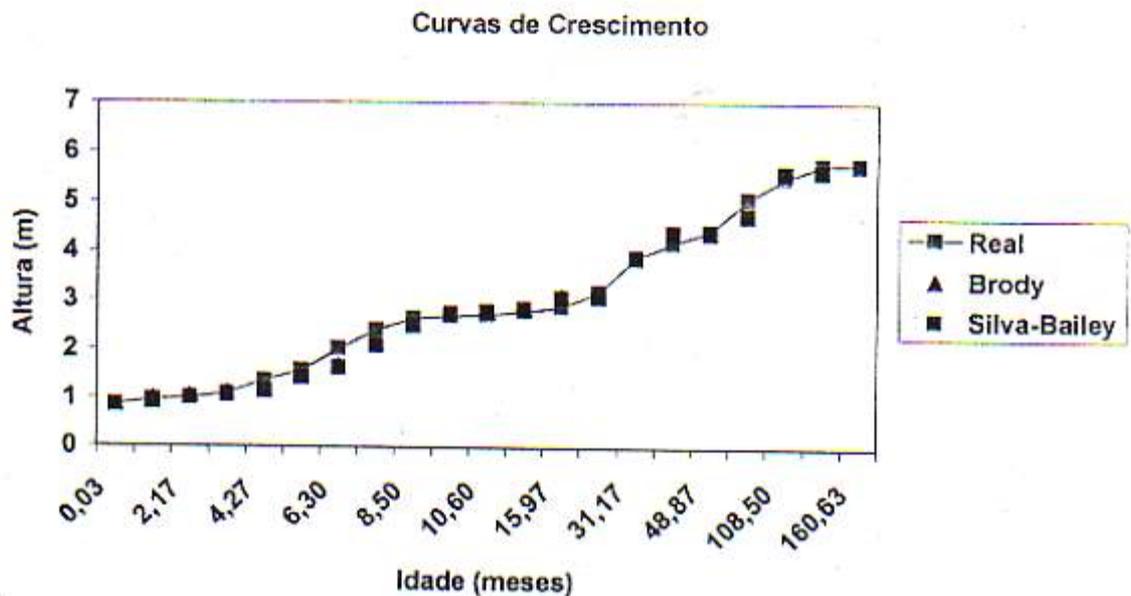


Figura 56 – Curva de crescimento real e estimadas pelos modelos de Brody e Silva-bailey, para a leucena, no tratamento 113, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE.

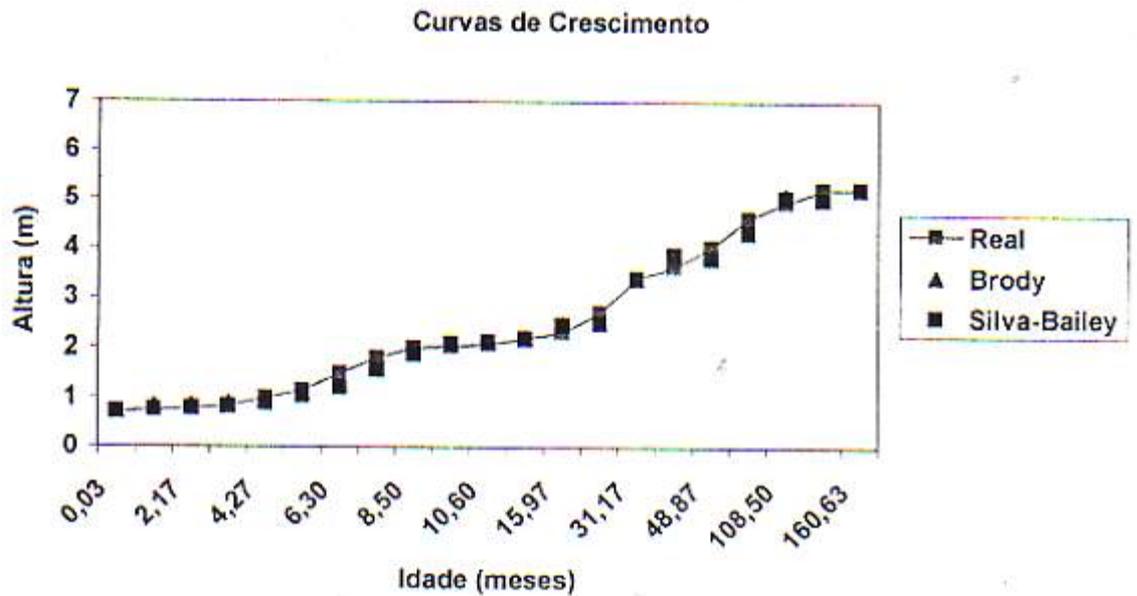


Figura 57 – Curva de crescimento real e estimada pelos modelos de Brody e Silva-bailey, para a leucena, no tratamento 121, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE.

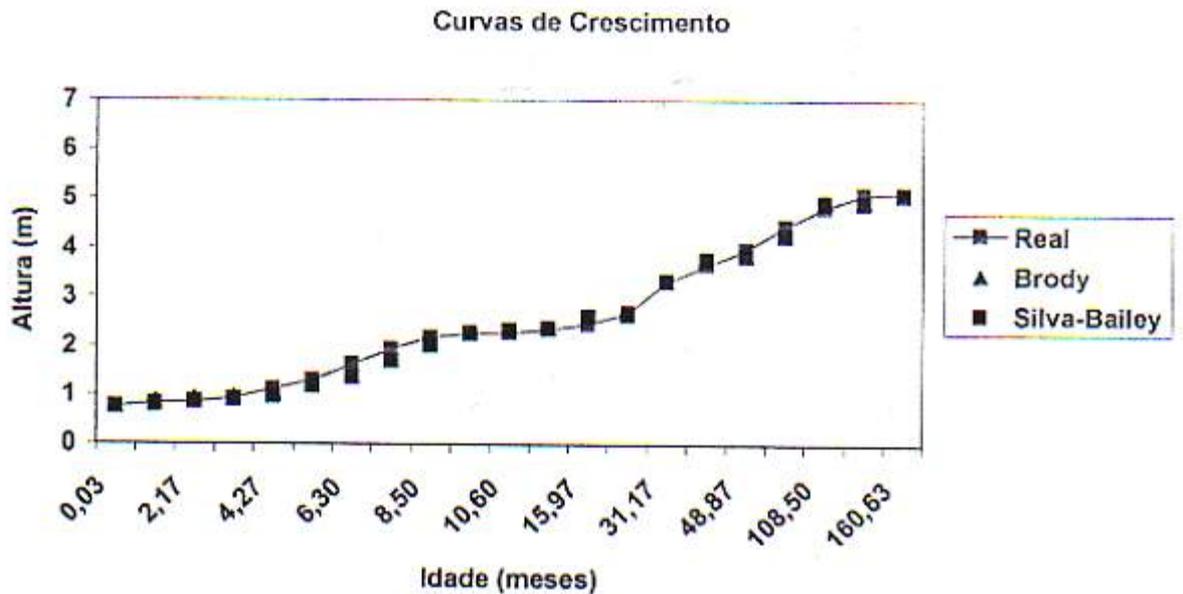


Figura 58 – Curva de crescimento real e estimada pelos modelos de Brody e Silva-bailey, para a leucena, no tratamento 122, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE.

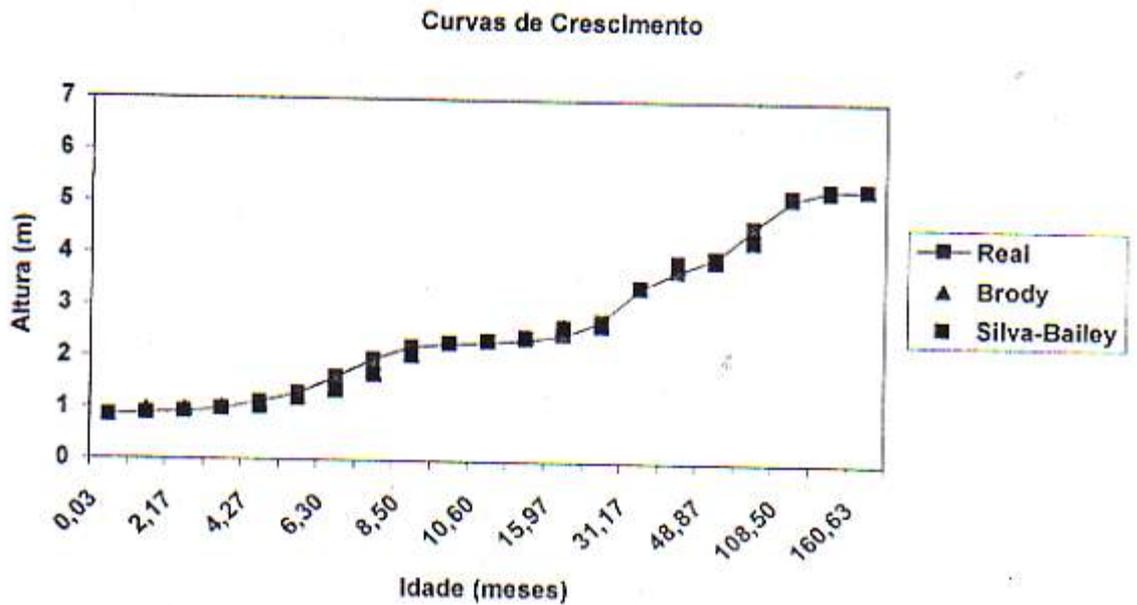


Figura 59 – Curva de crescimento real e estimada pelos modelos de Brody e Silva-bailey, para a leucena, no tratamento 123, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE.

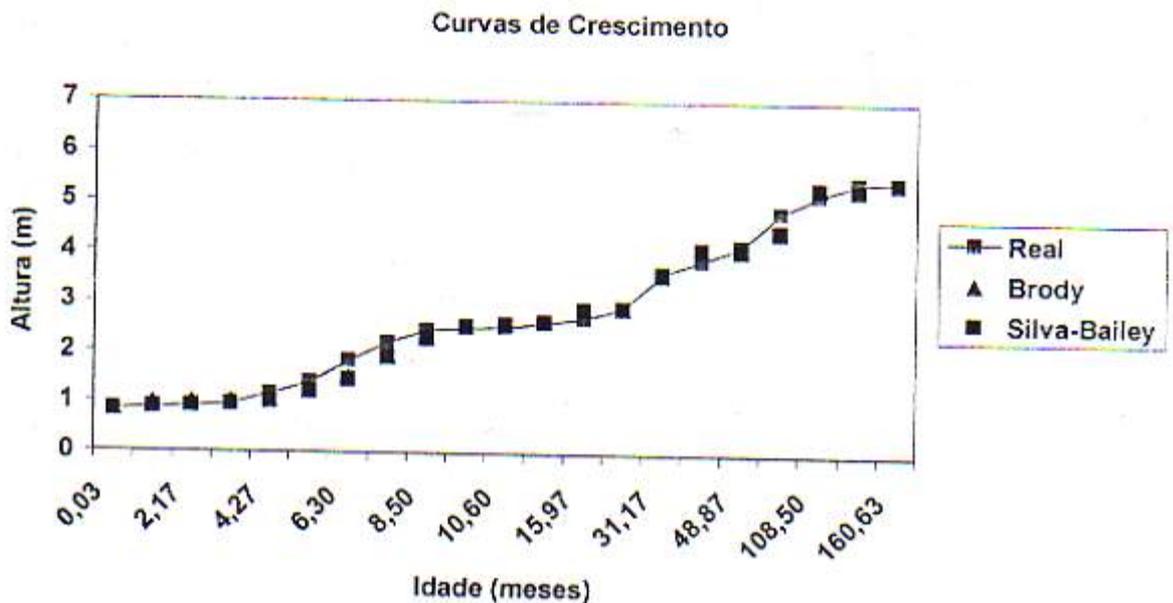


Figura 60 – Curva de crescimento real e estimada pelos modelos de Brody e Silva-bailey, para a leucena, no tratamento 131, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE.

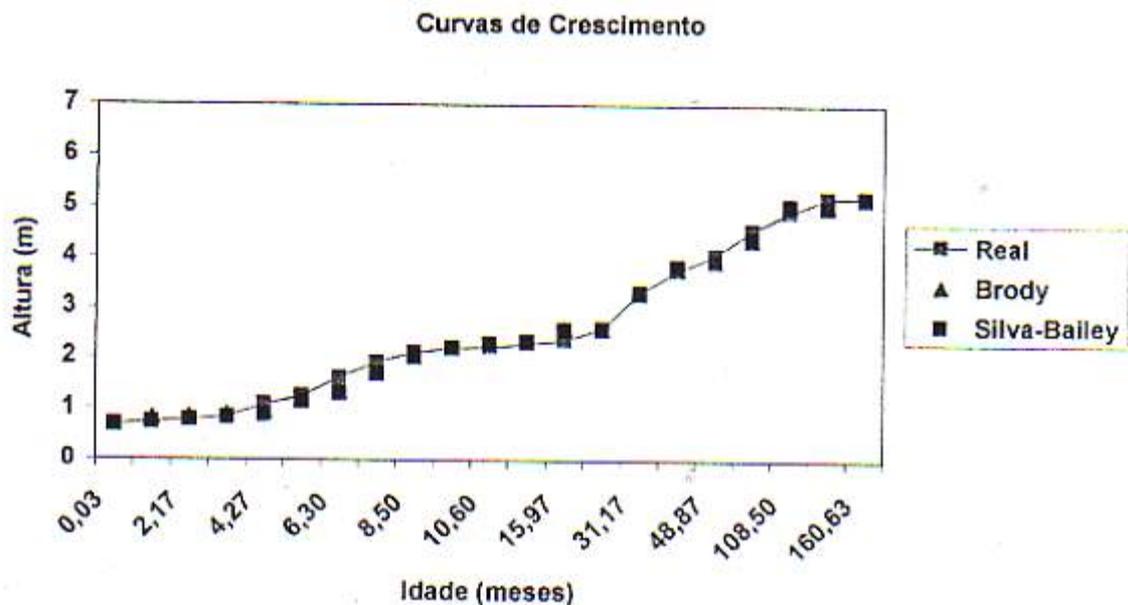


Figura 61 – Curva de crescimento real e estimada pelos modelos de Brody e Silva-bailey, para a leucena, no tratamento 132, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE.

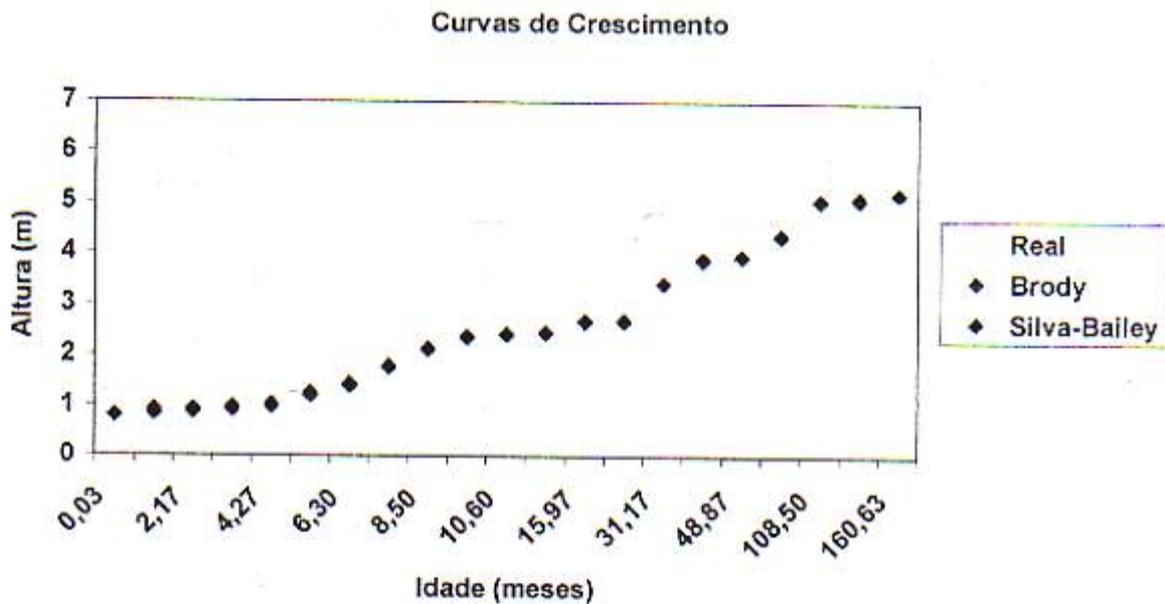


Figura 62 – Curva de crescimento real e estimada pelos modelos de Brody e Silva-bailey, para a leucena, no tratamento 133, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE.

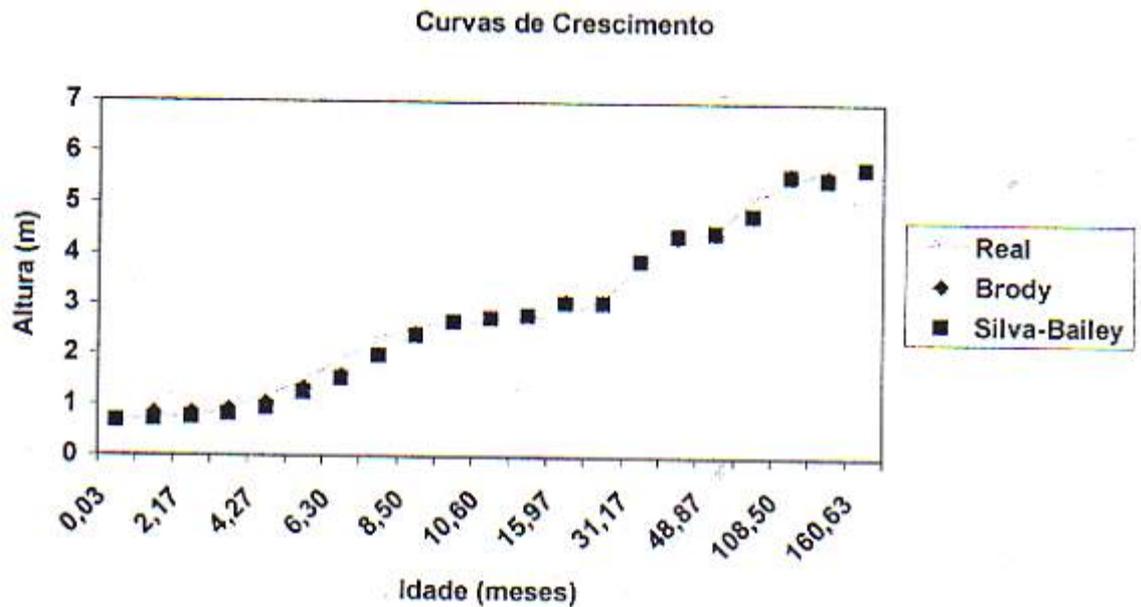


Figura 63 – Curva de crescimento real e estimada pelos modelos de Brody e Silva-bailey, para a leucena, no tratamento 141, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE.

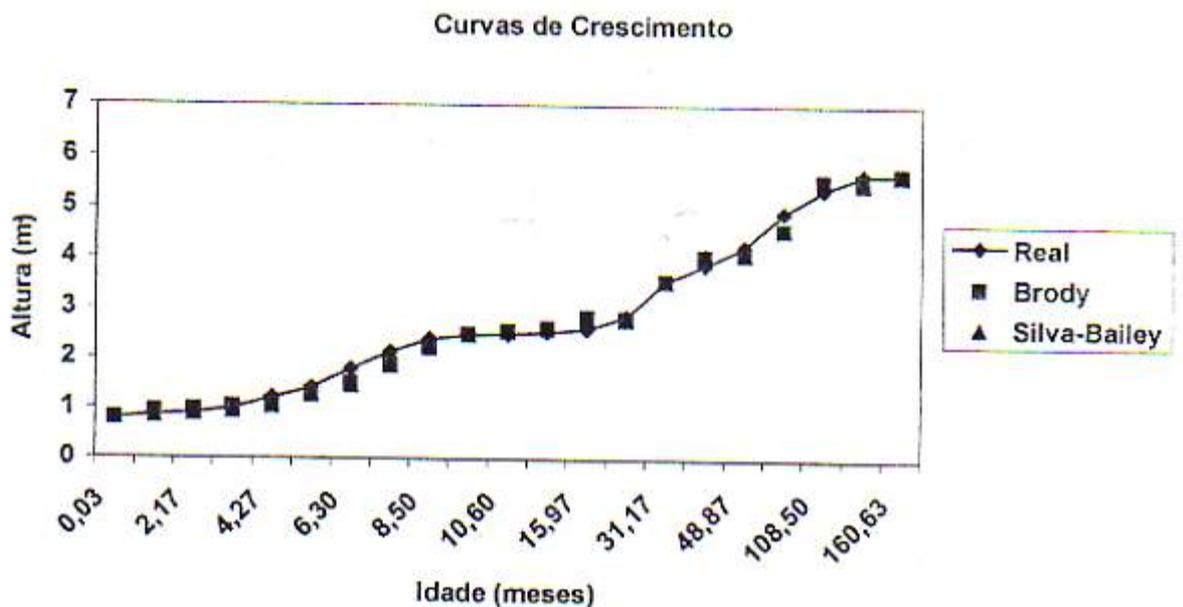


Figura 64 – Curva de crescimento real e estimada pelos modelos de Brody e Silva-bailey, para a leucena, no tratamento 142, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE.

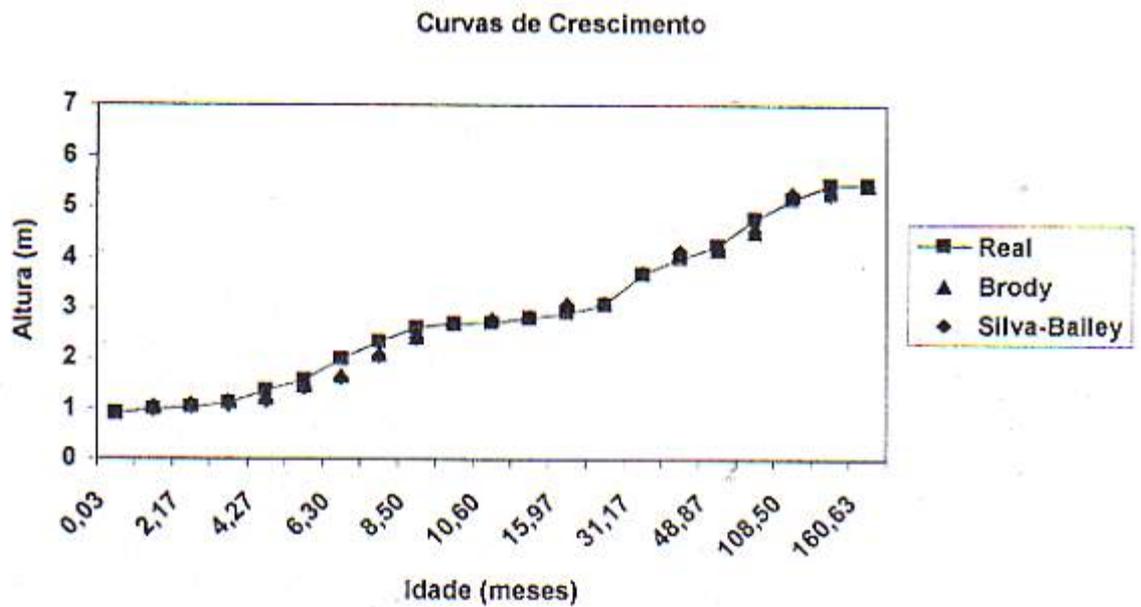


Figura 65 – Curva de crescimento real e estimada pelos modelos de Brody e Silva-bailey, para a leucena, no tratamento 143, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE.

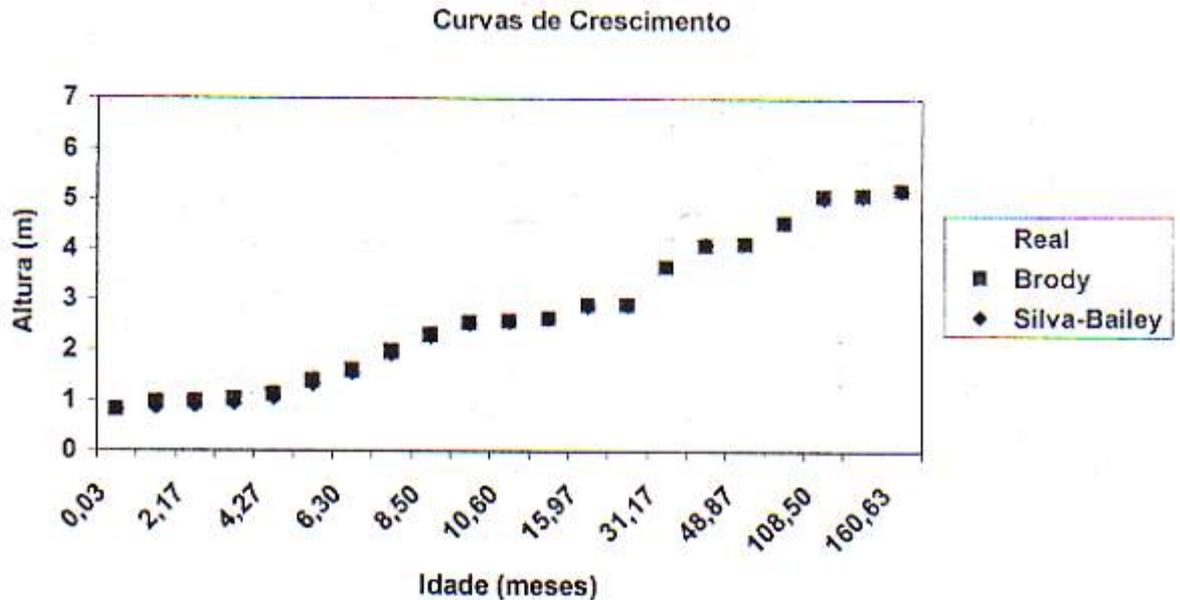


Figura 66 – Curva de crescimento real e estimada pelos modelos de Brody e Silva-bailey, para a leucena, no tratamento 211, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE.

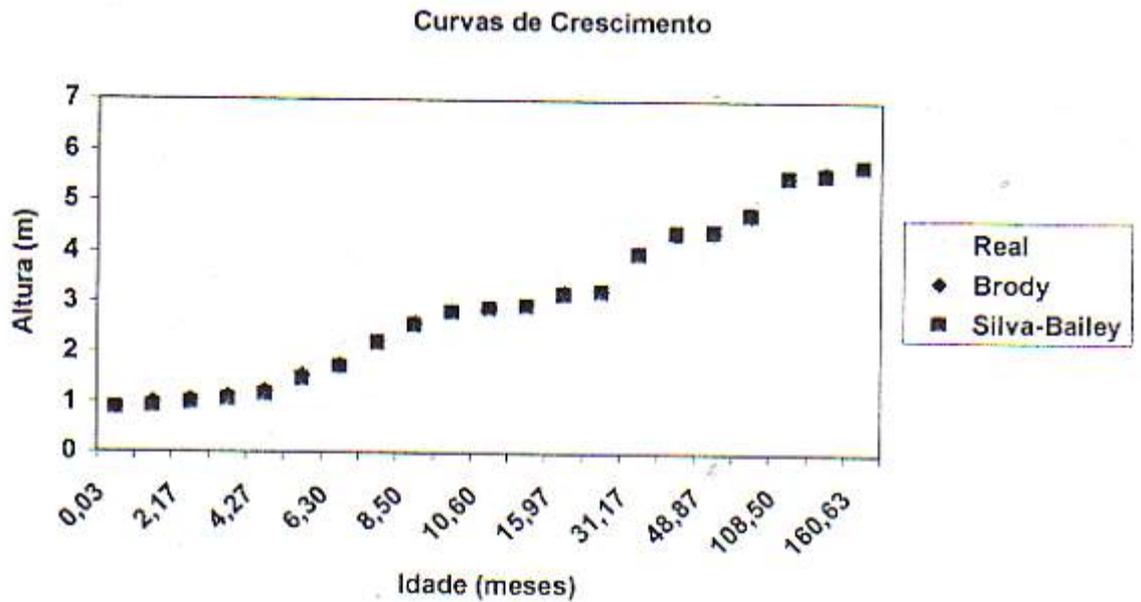


Figura 67 – Curva de crescimento real e estimada pelos modelos de Brody e Silva-bailey, para a leucena, no tratamento 212, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE.

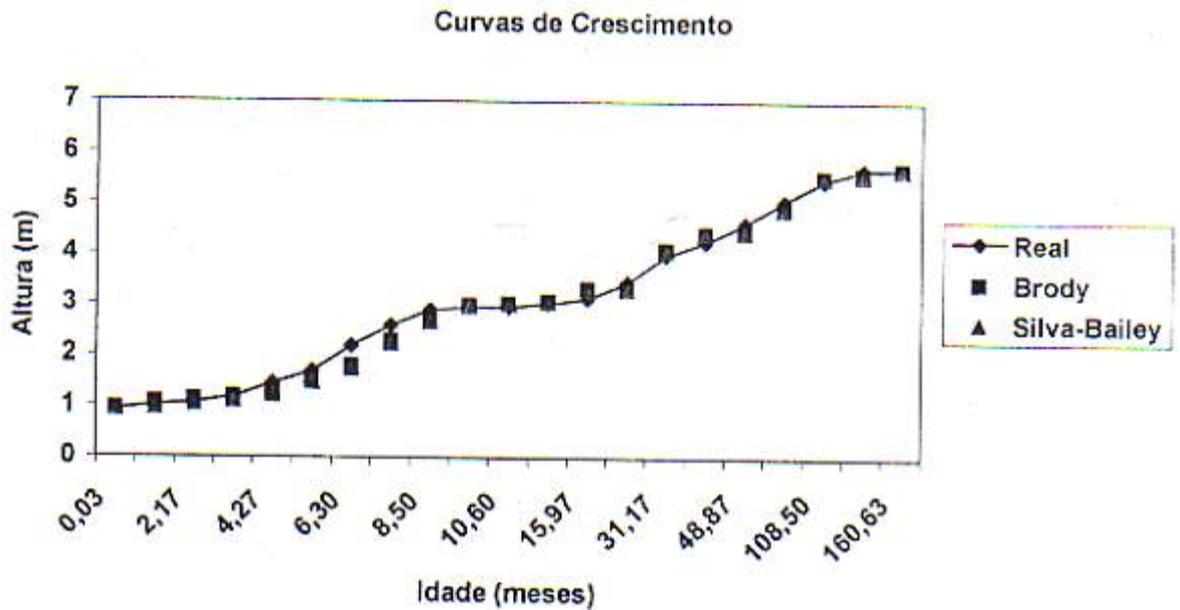


Figura 68 – Curva de crescimento real e estimada pelos modelos de Brody e Silva-bailey, para a leucena, no tratamento 213, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE.

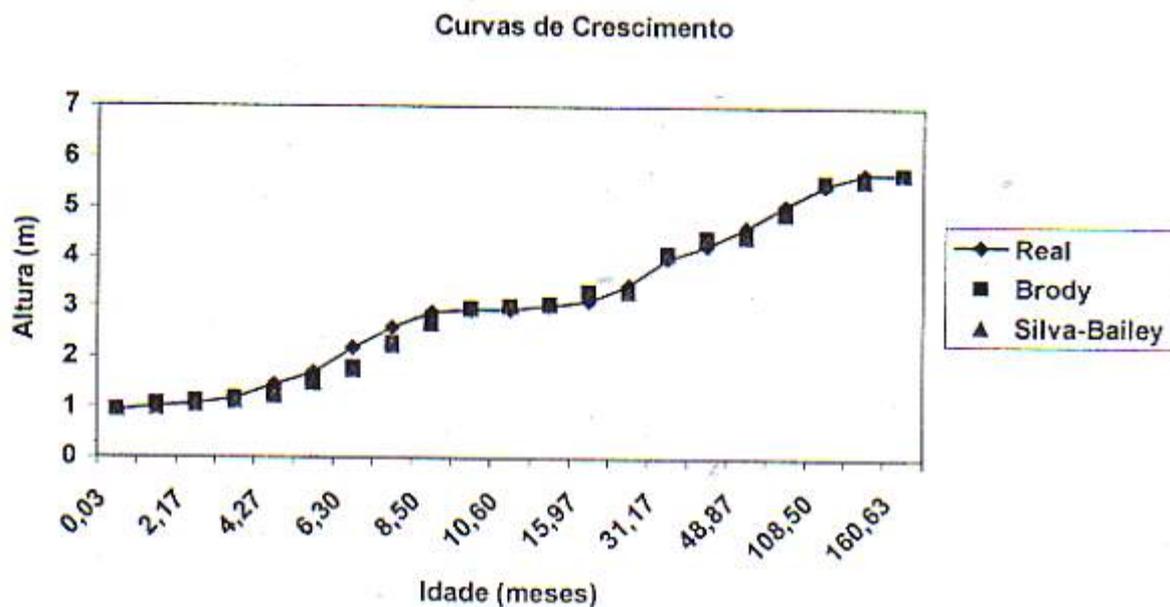


Figura 69 – Curva de crescimento real e estimada pelos modelos de Brody e Silva-bailey, para a leucena, no tratamento 221, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE.

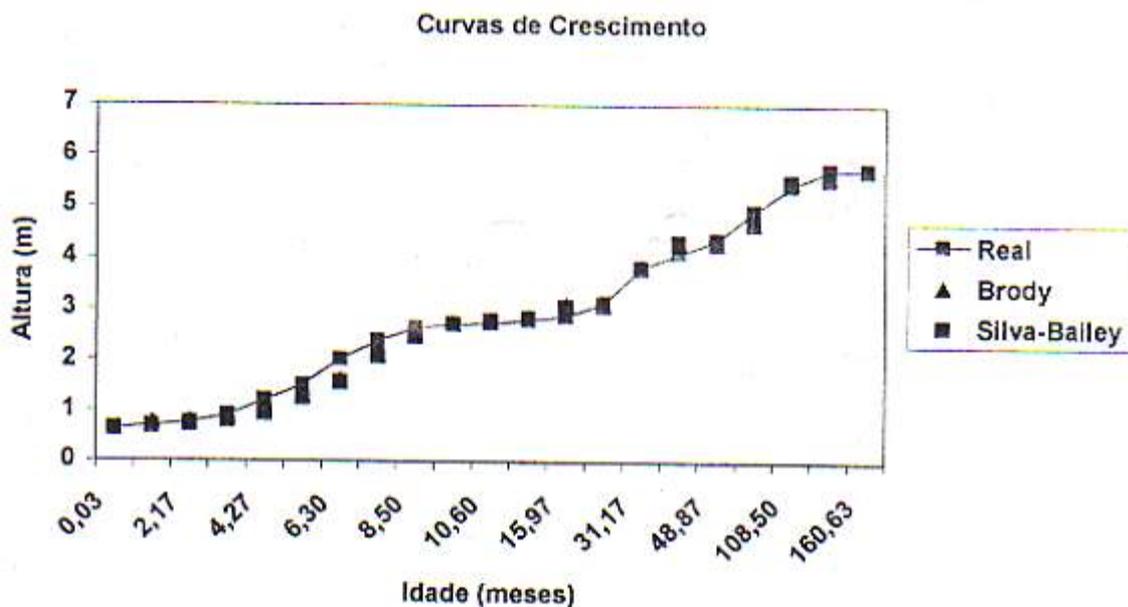


Figura 70 – Curva de crescimento real e estimada pelos modelos de Brody e Silva-bailey, para a leucena, no tratamento 222, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE.

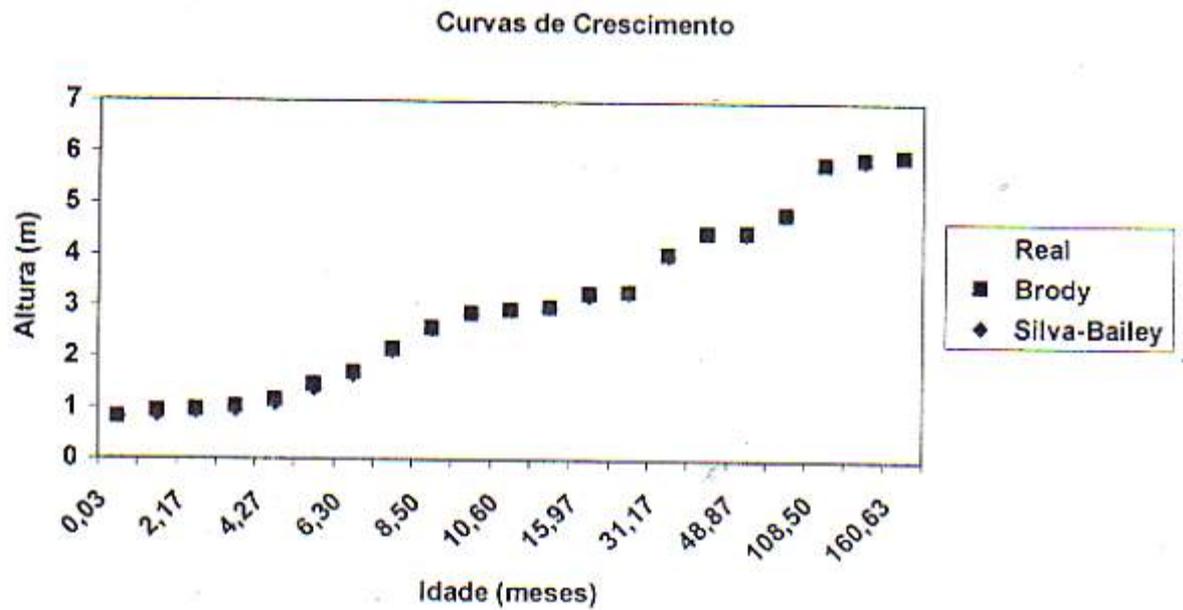


Figura 71 – Curva de crescimento real e estimada pelos modelos de Brody e Silva-bailey, para a leucena, no tratamento 223, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE.

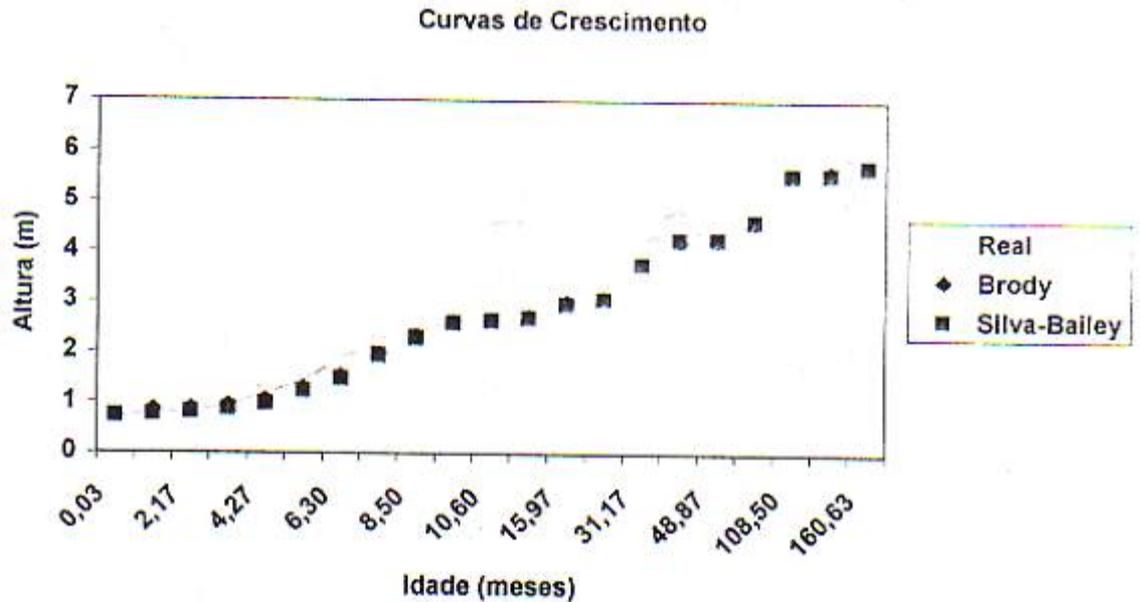


Figura 72 – Curva de crescimento real e estimada pelos modelos de Brody e Silva-bailey, para a leucena, no tratamento 231, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE.

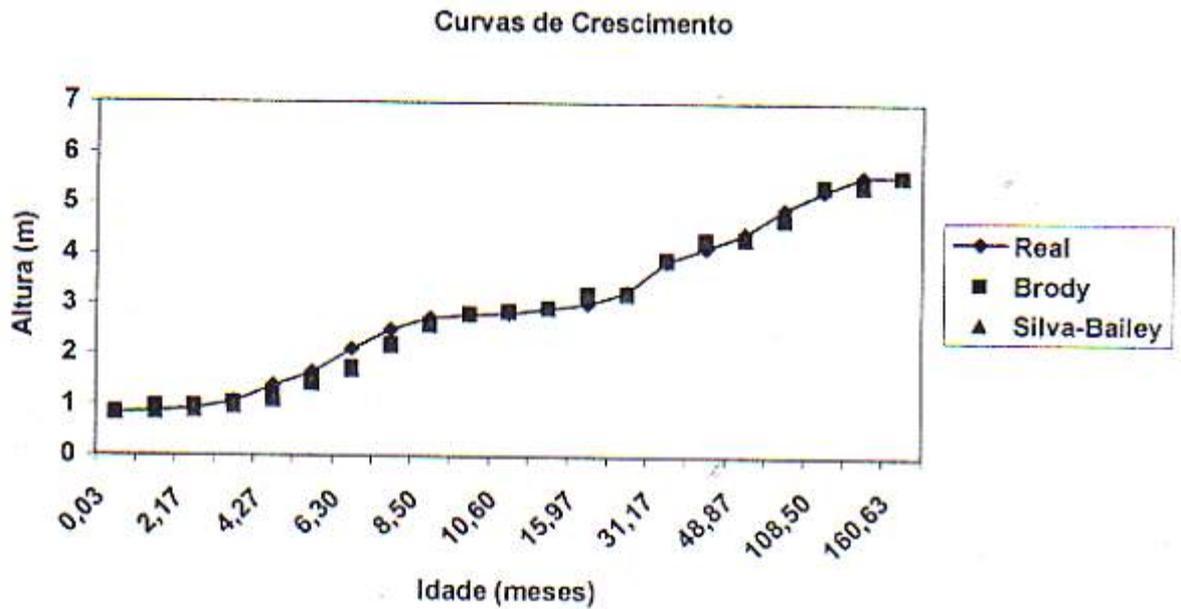


Figura 73 – Curva de crescimento real e estimada pelos modelos de Brody e Silva-bailey, para a leucena, no tratamento 232, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE.

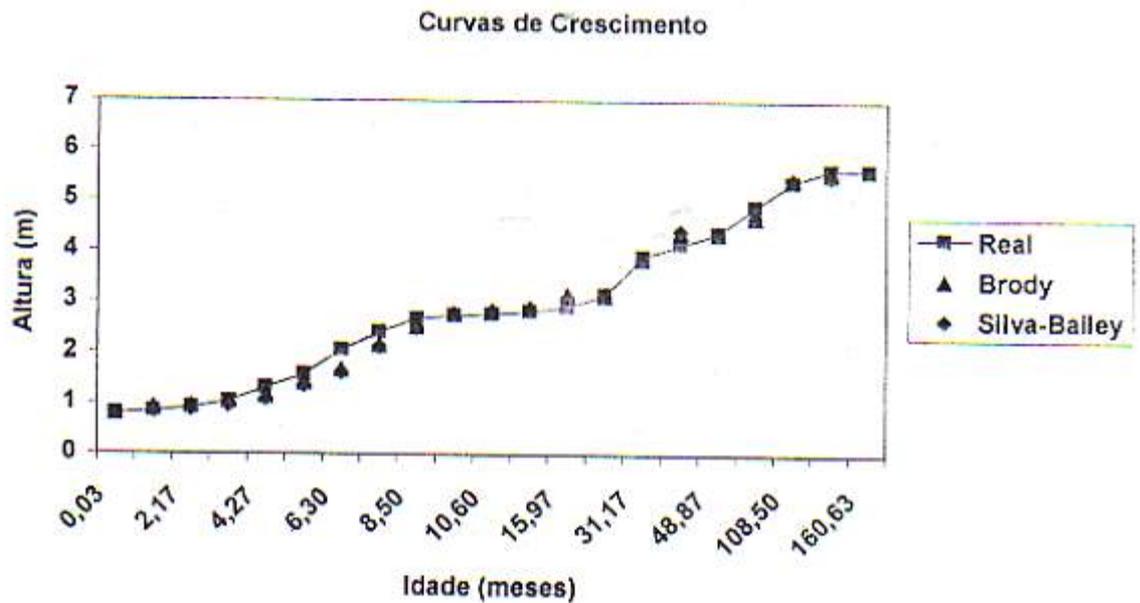


Figura 74 – Curva de crescimento real e estimada pelos modelos de Brody e Silva-bailey, para a leucena, no tratamento 233, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE.

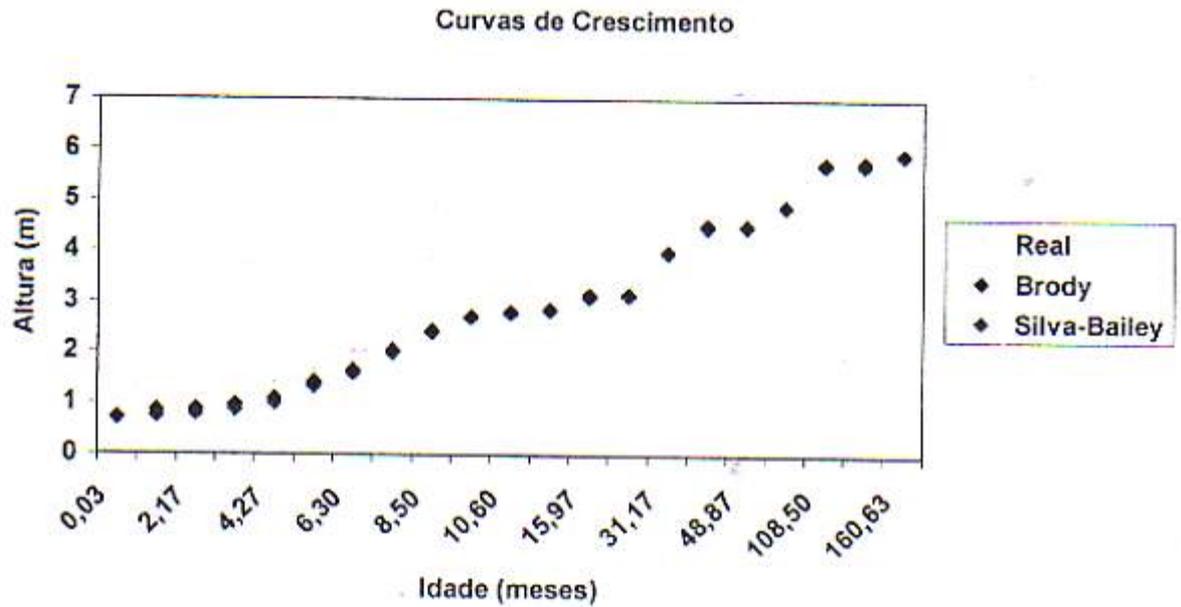


Figura 75 – Curva de crescimento real e estimada pelos modelos de Brody e Silva-bailey, para a leucena, no tratamento 241, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE.

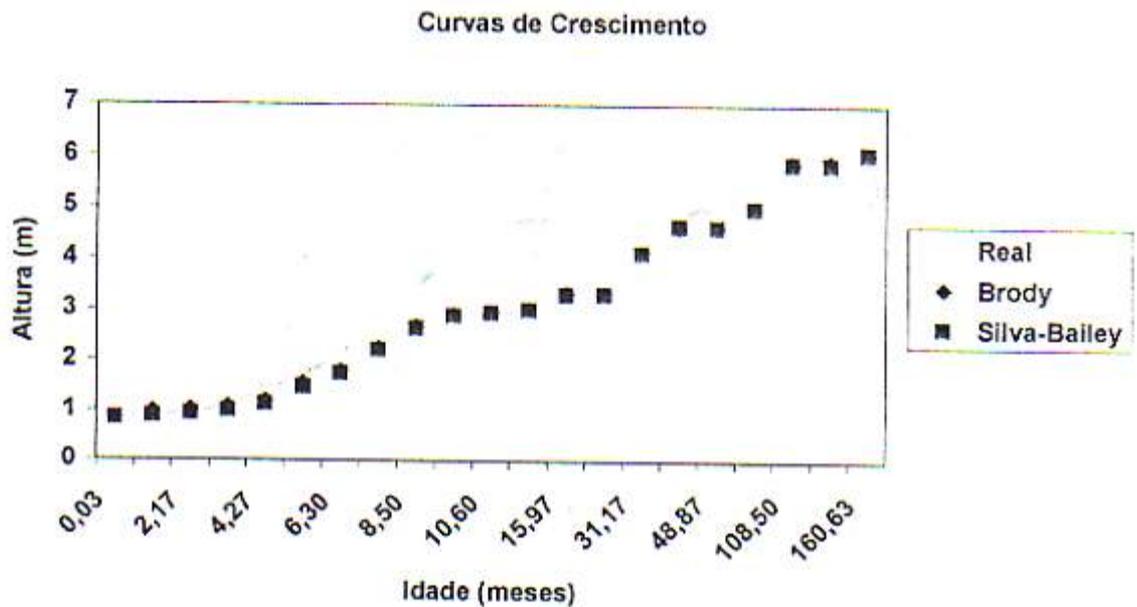


Figura 76 – Curva de crescimento real e estimada pelos modelos de Brody e Silva-bailey, para a leucena, no tratamento 242, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE.

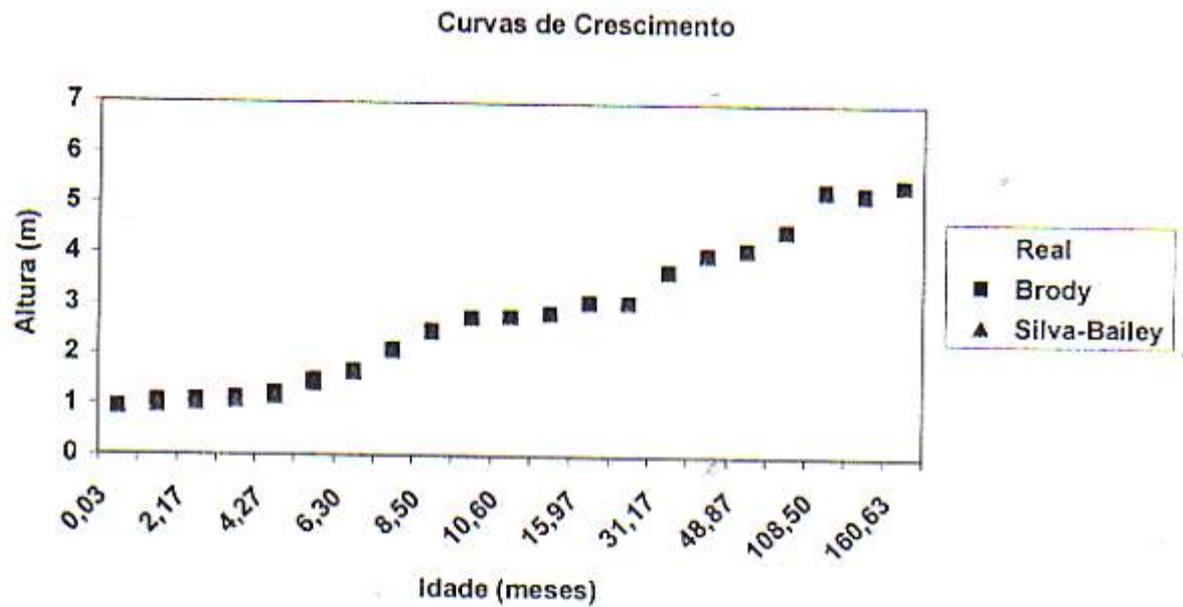


Figura 77 – Curva de crescimento real e estimada pelos modelos de Brody e Silva-bailey, para a leucena, no tratamento 243, na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Caruaru – PE.