

Ministério da Educação
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**COMPARAÇÃO DE MODELOS LINEARES E NÃO LINEARES
EM RELAÇÕES HIPSOMÉTRICAS PARA CLONES DE
Eucalyptus spp., NO PÓLO GESSEIRO DO ARARIPE-PE**

RECIFE
Pernambuco-Brasil
Fevereiro – 2012



Ministério da Educação
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS



**COMPARAÇÃO DE MODELOS LINEARES E NÃO LINEARES
EM RELAÇÕES HIPSOMÉTRICAS PARA CLONES DE
Eucalyptus spp., NO PÓLO GESSEIRO DO ARARIPE-PE**

RECIFE
Pernambuco-Brasil
Fevereiro – 2012

TARCÍSIO PIO PONTES NETO

COMPARAÇÃO DE MODELOS LINEARES E NÃO LINEARES
EM RELAÇÕES HIPSOMÉTRICAS PARA CLONES DE
Eucalyptus spp., NO PÓLO GESSEIRO DO ARARIPE-PE.

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais.

Orientador: JOSÉ ANTÔNIO ALEIXO DA SILVA, Ph D..

Co-orientador: RINALDO LUIZ CARACIOLO FERREIRA, D.Sc.

RECIFE
Pernambuco-Brasil
Fevereiro – 2012

Ficha catalográfica

P814c Pontes Neto, Tarcísio Pio
Comparação de modelos lineares e não lineares em
relações hipsométricas para clones de *Eucalyptus* spp. no
polo gesseiro do Araripe-PE / Tarcísio Pio Pontes Neto. --
Recife, 2012.
74 f. : il.

Orientador: José Antonio Aleixo da Silva.
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) –
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento
de Ciência Florestal, Recife, 2012.
Inclui referências e apêndice.

1. Myrtaceae 2. Altura 3. Idade 4. Árvore I. Silva, José
Antônio Aleixo da, orientador II. Título

CDD 634.9

TARCÍSIO PIO PONTES NETO

**COMPARAÇÃO DE MODELOS LINEARES E NÃO
LINEARES EM RELAÇÕES HIPSOMÉTRICAS PARA
CLONES DE *Eucalyptus* spp. NO PÓLO GESSEIRO DO
ARARIPE-PE**

Banca Examinadora:

Prof. Dr. César Augusto Guimarães Finger - UFSM

Prof. Dr. Otacílio Antunes Santana- UFPE

Prof. Dr. Luiz Carlos Marangon - UFRPE

Orientador:

Ph.D. José Antônio Aleixo da Silva

RECIFE-PE
Fevereiro/2012

“A boa educação é moeda de ouro.
Em toda parte tem valor.”

Padre Antônio Vieira

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a minha mãe, **Tatiana Waleska Albuquerque Pereira**, e a minha avó, **América Florentino de Albuquerque**, que supriram com amor todas as necessidades que tive. Juntos nós superamos todos os momentos difíceis que passamos nessa vida. Obrigado por tudo.

AGRADECIMENTOS

À **Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE** e ao **Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais – PPGCF**, pela oportunidade de qualificação e aprendizagem.

Ao **Instituto Agrônômico de Pernambuco – IPA** e ao **Instituto de Terras e Reforma Agrária do Estado de Pernambuco - ITERPE** pelo incentivo a aprendizagem e a oportunidade de desenvolvimento profissional dada a seus funcionários.

Aos professores que compõem minha comissão orientadora: meu orientador **Prof. PhD. José Antônio Aleixo da Silva** pelo imenso conhecimento compartilhado, por sua forte personalidade e seu caráter íntegro e meu co-orientador **Prof. Dr. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira** pela atenção dispensada.

Aos **professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais**, pelos ensinamentos preciosos e experiências divididas.

Aos **companheiros discentes** que dividiram os momentos de dificuldades e alegrias durante os dois anos de pós-graduação.

A todos os companheiros de trabalho que por meio de apoio e compreensão me incentivaram a desenvolver minhas pesquisas. Agradeço em especial a **Andréa Connolly, Antônio Borba, Edilson Santana, José Estevo (Mantena), Júlio Zoé de Brito, Maria de Oliveira e Severino Justino**.

A minha mãe, **Tatiana Waleska Albuquerque Pereira**, pelo incessante amor, incentivo e ensinamentos sobre a importância da educação para construção do caráter e melhoria da qualidade de vida.

A minha avó materna, **América Florentino de Albuquerque**, por todo o amor e dedicação exclusivos ao meu conforto e bem estar, independente das limitações e adversidades.

Aos meus sogros, **Eraldo Malta Mendes da Silva e Lúcia Amélia Malta Cavalcante**, por me receberem em sua família com o carinho e respeito dispensados apenas a um verdadeiro filho.

A **Marília Malta Cavalcante Mendes**, minha companheira de jornada, meu porto seguro, meu amor. Seu compromisso com a ciência foi minha maior

inspiração durante a pós-graduação. Você me dá ânimo para enfrentar novos desafios. Obrigado por uma década maravilhosa. A primeira de muitas.

A todos os estudantes, trabalhadores de campo, técnicos, engenheiros, doutores, pós doutores e instituições que contribuíram para a concretização do Módulo de Experimentação Florestal para o Pólo Gesseiro do Araripe.

A **todos** que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	IX
LISTA DE TABELAS.....	XI
RESUMO	XIII
ABSTRACT	XIV
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DE LITERATURA	05
2.1 Pólo Gesseiro do Araripe.....	05
2.2 O Eucalipto.....	07
2.3 Crescimento em altura.....	12
2.4 Relações hipsométricas.....	14
2.5 Seleção de modelos de regressão.....	18
3. MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1 Local do experimento.....	20
3.2 Mensuração das árvores.....	22
3.3 Análise estatística.....	23
3.4 Modelos hipsométricos.....	24
3.5 Seleção das equações hipsométricas.....	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4.1 Estatística de seleção dos modelos.....	28
4.2 Análise da distribuição dos resíduos percentuais em função da altura estimada.....	31
4.3 Análise das curvas de crescimento real e estimadas dos modelos testados.	33
5. CONCLUSÕES	36
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
APÊNDICE.....	46

LISTA DE FIGURAS

Figura

1. Distribuição dos plantios de <i>Eucalyptus</i> spp. no Brasil (ABRAF, 2011).....	10
2. Localização do município de Araripina-PE e imagem do experimento.....	20
3. Distribuição da precipitação e temperatura média do município de Araripina-PE.....	21
4. Área total da parcela com representação da área útil pelas 25 árvores úteis (centrais) e 24 da borda.....	21
5. Distribuição dos 15 clones de <i>Eucalyptus</i> spp. utilizados no Módulo de Experimentação Florestal para a Região do Araripe, em Araripina-PE entre as parcelas de seus respectivos blocos.....	23
6. Distribuição dos resíduos (%) em função do altura estimada de <i>Eucalyptus</i> spp. dos modelos 1, 4 e 5 no Grupo 1 na Estação Experimental do IPA na Chapada do Araripe-PE.....	32
7. Distribuição dos resíduos (%) em função do altura estimada de <i>Eucalyptus</i> spp. dos modelos 1, 4 e 5 no Grupo 2 na Estação Experimental do IPA na Chapada do Araripe-PE.....	32
8. Alturas real e estimada de <i>Eucalyptus</i> spp. das equações 1, 4 e 5 em função da idade no Grupo 1 na Estação Experimental do IPA na Chapada do Araripe-PE.....	34

9. Alturas real e estimada de <i>Eucalyptus</i> spp. das equações 10, 13 e 18 em função da idade no Grupo 1 na Estação Experimental do IPA na Chapada do Araripe-PE.....	34
10. Alturas real e estimada de <i>Eucalyptus</i> spp. das equações 1, 4 e 5 no Grupo 2 na Estação Experimental do IPA na Chapada do Araripe-PE.....	35
11. Alturas real e estimada de <i>Eucalyptus</i> spp. das equações 10, 13 e 18 no Grupo 2 na Estação Experimental do IPA na Chapada do Araripe-PE.....	35
1A. Resíduo em percentagem em função da altura estimada das equações ajustadas aos dados do Grupo 1 de <i>Eucalyptus</i> spp. na Estação Experimental do IPA, localizada na Chapada do Araripe, Araripina-PE.....	47
2A. Resíduos em percentagem em função da altura estimada das equações ajustadas aos dados do Grupo 2 de <i>Eucalyptus</i> spp. na Estação Experimental do IPA, localizada na Chapada do Araripe, Araripina-PE.....	49
1B. Crescimento das alturas real e estimada de <i>Eucalyptus</i> spp. das equações propostas no Grupo 1 na Estação Experimental do IPA na Chapada do Araripe-PE.....	51
2B. Crescimento das alturas real e estimada de <i>Eucalyptus</i> spp. das equações propostas no Grupo 2 na Estação Experimental do IPA na Chapada do Araripe-PE.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela

1. Clones de *Eucalyptus* spp. utilizados no Módulo de Experimentação Florestal para a Região do Araripe, em Araripina-PE, de onde foram retirados os dados de CAP e altura para a pesquisa..... 22
2. Relação de modelos hipsométricos aplicados aos dados de altura, CAP e idade dos Clones de *Eucalyptus* spp. utilizados no Módulo de Experimentação Florestal para a Região do Araripe, em Araripina-PE.... 24
3. ANOVA das médias de altura do experimento em blocos casualizados..... 28
4. Média de altura de plantas de *Eucalyptus* spp. aos 90 meses na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA, em Araripina-PE..... 28
5. Rank da estatística de ajuste dos modelos hipsométricos para *Eucalyptus* spp. na Chapada do Araripe-PE..... 29
- 1C. Média das alturas dos clones de *Eucalyptus* spp. e estatística resultante da ANOVA dos blocos a cada idade de obtenção de dados..... 57
- 1D. Modelos hipsométricos aplicados aos dados de Altura, CAP e idade dos clones de *Eucalyptus* spp. do Grupo 1, suas equações resultantes e estatísticas de seleção dos modelos ($R^2_{aj}\%$, S_{xy} e $S_{xy}\%$)..... 58
- 2D. Modelos hipsométricos aplicados aos dados de Altura, CAP e idade dos clones de *Eucalyptus* spp. do Grupo 2, suas equações resultantes e

estatísticas de seleção dos modelos ($R^2_{aj}\%$, S_{xy} e $S_{xy}\%$)..... 59

PONTES NETO, TARCÍSIO PIO, Comparação de modelos lineares e não lineares em relações hipsométricas para clones de *Eucalyptus* spp. no Pólo Gesseiro do Araripe-PE. 2012. Orientador: José Antônio Aleixo da Silva. Co-orientador: Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo comparar e selecionar modelos hipsométricos para estimar a altura das árvores em função do CAP e da idade, em povoamentos clonais de *Eucalyptus* spp. na região do Pólo Gesseiro do Araripe. O experimento foi instalado na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA, no município de Araripina –PE, Semiárido de Pernambuco, com coordenadas geográficas de posição 07°29'00" e 40°36'00" e altitude de 816 metros. A base de dados foi composta de todas as medidas de CAP e altura total das plantas sobreviventes dos 15 clones do experimento, totalizando 1215 árvores. Os 15 clones foram resultado de cruzamentos naturais ou polinizações cruzadas de espécies de híbridos de *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus tereticornis*, *Eucalyptus urophylla* com *Eucalyptus tereticornis* e *Eucalyptus brassiana*. Ao longo de sete anos e seis meses as árvores tiveram suas CAPs medidas por fita métrica e alturas obtidas por hipsômetro digital, a cada intervalo de seis meses. Um total de 18 modelos lineares e não lineares foram testados para os 15 clones do experimento reunidos em dois grupos, obtidos pelo teste de Scott-Knott, e utilizando CAP e idade como variáveis independentes. Para selecionar as equações foram aplicadas as estatísticas coeficiente de determinação ajustado (R_{aj}^2), erro padrão da estimativa em porcentagem ($S_{xy}\%$), análise gráfica do resíduo em porcentagem, observando ainda a facilidade de aplicação. O modelo cinco ($H_i = \beta_0 + \beta_1 \ln(CAP_i) + \beta_2 I_i + \varepsilon_i$) foi o que melhor atendeu aos parâmetros estatísticos utilizados nos dois grandes grupos resultando nas equações $\hat{H}_i = -8,6037 + 4,7438 \ln(CAP_i) + 0,0898 * I_i$ ($R_{aj}^2 = 92,35\%$ e $S_{xy} = 8,60\%$) para o grupo 1 e $\hat{H}_i = -7,4410 + 4,4255 * \ln(CAP_i) + 0,0840 * I_i$ ($R_{aj}^2 = 90,35\%$ e $S_{xy} = 4,61\%$).

Palavras-chave: *Myrtaceae*, altura, idade, árvore.

ABSTRACT

This work aimed to compare and select hypsometric models to estimate the tree height as a function of the CAP and age, in clonal stands of *Eucalyptus* spp. the region of Gypsum Pole of Araripe. The experiment was conducted at the Experimental Station of the Agronomic Institute of Pernambuco - IPA, in the municipality of Araripina-PE, Semiarid region of Pernambuco, with geographic coordinates of position 07° 29' 00" and 40° 36' 00" and elevation of 816 meters. The database was composed of all the plants survived of the 15 clones of the experiment, a total of 1215 trees. The 15 clones was result of natural crossing or outcrossing species and hybrids of *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus tereticornis*, *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus tereticornis* and *Eucalyptus brassiana*. Over seven years and six months the trees had their (CAP) measured by tape, the trees heights were obtained by digital hypsometer, at intervals of 6 months. It was tested tested 18 linear and nonlinear models for the 15 clones of the experiment gathered in two groups, obtained by the Scott-Knott test, using CAP and age as independent variables. To select the equations were applied statistics adjusted coefficient of determination (R_{aj}^2), standard error of estimate (S_{xy} %), graphical analysis of the residue (%) and ease application. The model $H_i = \beta_0 + \beta_1 \ln(CAP_i) + \beta_2 I_i + \varepsilon_i$ was the one that best met the statistical parameters used in the two groups resulting in the equation $\hat{H}_i = -8,6037 + 4,7438 \ln(CAP_i) + 0,0898 * I_i$ ($R_{aj}^2 = 92,35\%$ e $S_{xy} = 8,60\%$) to group 1 and $\hat{H}_i = -7,4410 + 4,4255 * \ln(CAP_i) + 0,0840 * I_i$ ($R_{aj}^2 = 90,35\%$ e $S_{xy} = 4,61\%$) in group 2.

Keywords: *Myrtaceae*, height, age, tree

1. INTRODUÇÃO

Desde o início da ocupação do território Nacional os recursos naturais, sobretudo os florestais, são usados para suprir as necessidades da crescente população humana. Porém, a construção do conhecimento sobre essas riquezas não acompanha a pressão da antropização e assim importantes recursos biológicos são perdidos sem que nem ao menos se tenha consciência de sua existência. São centenas de espécies de plantas e animais que habitam os mais variados ambientes e compõem ecossistemas únicos e delicados.

Apesar de diversas políticas públicas voltadas para conservação e preservação estarem em execução em Pernambuco à maioria não é de caráter permanente e acabam tendo seus recursos desviados para os programas emergenciais que consomem grande volume de recursos públicos (ZICCARDI, 2001). Além disto, a base energética Estadual está fortemente ligada a biomassa vegetal e as dificuldades trazidas pelas intempéries ambientais levam a população a utilizar os recursos ambientais de maneira desordenada e, conseqüentemente, insustentável.

O Sertão Pernambucano, permeado pela vegetação da Caatinga, é a região semiárida mais povoada do mundo. Dotado de diversidade biológica de reconhecida importância esse também possui grandes riquezas em seu meio físico, inclusive em seu subsolo. Possuindo mais das 60% das reservas nacionais, os Estados do Nordeste despontam no mercado interno e externo de exploração da gipsita. A região do Araripe, situada entre os limites do Estado de Pernambuco, Ceará e Piauí, possui a gipsita de maior pureza do mundo (SILVA, 2008-2009).

Em Pernambuco, as mineradoras, indústrias e empresas ligadas ao Pólo Gesseiro do Araripe, responsável por 95% da produção de gesso do país, distribuem-se ao longo dos municípios de Araripina, Bodocó, Ipubi, Ouricuri e Trindade. Tais municípios possuem mais de 904 empresas ligadas a mineração da gipsita e também ao beneficiamento, transporte do gesso formando assim o Arranjo Produtivo Local do Gesso. Devido ao desenvolvimento da construção civil e, em partes, da agricultura esse setor industrial vem apresentando um

constante crescimento ao longo dos últimos cinco anos (RODRIGUES e FERRAZ, 2009).

Para que o gesso seja produzido faz-se necessária a desidratação da gipsita pela queima de combustível para o aquecimento de fornos de calcinação. Por apresentar vantagem econômica, a vegetação nativa da Caatinga passa a ser a principal fonte energética da indústria do gesso gerando um aumento significativo no processo de degradação da Caatinga que é diretamente proporcional ao crescimento da demanda de energia.

O material lenhoso utilizado nos fornos da maioria das indústrias é oriundo da exploração de vegetação nativa não manejada. Se os demais setores produtivos que usam lenha como fonte de energia forem incluídos a demanda superaria os 3 milhões de estéreos/ano. Por possuir relevância socioeconômica a atividade supracitada necessita de meios de exploração racional e sustentável da vegetação nativa e alternativas de material combustível renovável que garantam sua continuidade.

Evidencia-se a necessidade de se buscar uma alternativa economicamente viável e ambientalmente sustentável para suprir as necessidades do maior setor econômico da região do Araripe. Em virtude disto, é relevante considerar que o plantio de florestas energéticas de rápido crescimento busca suprir a preocupação da sociedade por energias renováveis e o clamor do empresariado por combustíveis de melhor custo/benefício.

É clara a deficiência de entendimento por parte da sociedade e dos gestores públicos na assimilação do fato de que os recursos naturais podem ser protegidos por meio da utilização racional ao invés da difícil e onerosa preservação, evitando assim a degradação contínua da Caatinga e diminuindo a emissão de gases do efeito estufa.

No ano 2000, a Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e o Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), deram início a uma pesquisa de grande impacto e relevância na busca da resposta para os problemas de fornecimento de energia de biomassa para as indústrias do

Araripe, o Módulo de Experimentação Florestal para o Pólo Gesseiro do Araripe. Dentre as diversas espécies de árvores nativas e exóticas que compõem o experimento, os clones de eucaliptos mostram desenvolvimento volumétrico superior, especialmente quando comparados às espécies nativas da Caatinga (FUPEF, 2007).

Para maior compreensão dos benefícios sociais, ambientais e econômicos do plantio de florestas é preciso conhecer as características das áreas onde o plantio é feito e realizar a medição ou estimativa das variáveis dendrométricas. A estimativa correta do volume da população possui grande importância para o sucesso do planejamento florestal. Dentre as variáveis dendrométricas mais utilizadas para tais fins destacam-se a circunferência ou diâmetro à altura do peito (CAP ou DAP) e a altura total (h) dos indivíduos.

A obtenção da estimativa do volume total e comercial é um dos principais objetivos dos inventários florestais. Tem-se por princípio que árvores podem ter seu volume estimado desde que outra árvore de mesmo diâmetro, altura e forma tenha tido seu volume determinado corretamente. Para tanto, faz-se necessário a mensuração da altura total, aumentando consideravelmente os custos do inventário florestal (THIERSCH et al., 2006).

Silva et al., (1984) descreveu que diminuir os custos desse inventário é foco da pesquisa de diversos autores, tendo em vista que maiores precisões demandam maior dispêndio de recursos financeiros e tempo. Apesar dos diversos instrumentos desenvolvidos ao longo dos anos a variável altura ainda se apresenta como uma restrição à celeridade nas medições de campo, sobretudo em povoamentos de alta densidade, levando a visualização da copa e da base das árvores se tornar inviável, lenta e onerosa (CRECHI, 1996).

Vale ressaltar que os custos variam de acordo com a mão de obra empregada, acesso a equipamentos adequados, o local onde o povoamento foi implantado em relação aos centros de comercialização, os gastos com produção de documentos e pagamento de licenças, exigidas pelos órgãos de regularização ambiental.

Frequentemente, são aplicadas equações nas quais a altura é a variável dependente, associada a variáveis independentes de fácil mensuração em campo, como o CAP e a idade da árvore (MACHADO et al., 1994). Essa relação entre a altura e CAP é conhecida como relação hipsométrica.

Ker e Smith (1957), citados por Ribeiro et al. (2010), descrevem a técnica de mensuração para obtenção de uma relação hipsométrica ($H:(f) \text{ CAP}$) que consiste em mensurar a CAP de todas as árvores da parcela e apenas algumas alturas e pela relação altura-diâmetro calculada, pode-se estimar as alturas das demais árvores.

Bartoszeck et al. (2002) e Barros et al. (2002) apresentam diversos modelos hipsométricos voltados para a literatura florestal os quais podem ser ajustados para obtenção de dados por parcelas, locais ou regionais, gerando uma equação hipsométrica que será capaz de captar as variações presentes no povoamento florestal ao mesmo tempo em que estima de forma confiável, levando em consideração o erro admissível, a altura existente na população.

Diante do exposto o presente trabalho busca ajustar e selecionar modelos hipsométricos lineares e não lineares usando a CAP e a idade como variáveis independentes para reduzir a medição de alturas de árvores em campo, diminuindo o número amostral e, conseqüentemente, os custos dos inventários florestais sem perda significativa de precisão, em plantios de clones de eucaliptos no Pólo Gesseiro do Araripe.

Concomitantemente busca-se em diferentes clones de *Eucalyptus* spp. no Pólo Gesseiro do Araripe: i) calcular os parâmetros do ajuste dos dados ao modelos hipsométricos; ii) selecionar as equações hipsométricas mais significativas lineares ou não lineares; e iii) recomendar, segundo discussão e distribuição do erro residual, a equação mais significativa e a qual(is) clone(s) ela foi melhor ajustada.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Pólo Gesseiro do Araripe

Localizado equidistante 800 km de sete capitais brasileiras (Recife, Salvador, Fortaleza, Aracaju, Maceió, João Pessoa, e Natal) o Arranjo Produtivo Local (APL) do Pólo Gesseiro do Araripe é composto pelos municípios de Araripina, Bodocó, Ipubí, Ouricuri e Trindade, onde são gerados 13.200 empregos diretos e 66.000 indiretos, resultantes da atuação de 42 minas de gipsita, 140 indústrias de calcinação e cerca de 726 indústrias de pré-moldados, com um faturamento anual na ordem de US\$ 364 milhões/ano (SINDUGESSO, 2011).

Ainda segundo SINDUGESSO (2011), influenciado pelo crescimento da construção civil e agricultura, a produção nacional de gipsita alcançou 1.923.119 t, cerca de 1,5% da produção mundial. Deste total 95% foram produzidos no Pólo Gesseiro de Pernambuco. Além dos setores já citados, o gesso, principal subproduto da gipsita, tem destaque nas indústrias de jóias, cerâmica, automotiva, medicinal, odontologia e estética.

Com o crescimento do mercado consumidor é de se esperar que haja expansão no Pólo Gesseiro, tanto horizontal como verticalmente, o que levará ao aumento da demanda de matéria prima, gipsita, e do material combustível necessário para sua desidratação. A mineração e o beneficiamento da gipsita são considerados como as principais atividades econômicas dos municípios do Pólo Gesseiro do Araripe, Alto Sertão Pernambucano. Os Estados da Bahia, do Pará e Pernambuco concentram as maiores reservas de gipsita do Brasil (DNPM, 2011).

ATECEL (2006) fez um levantamento de 40 empresas que atuam no processo de calcinação de gipsita. Dessa amostragem se observou que 35 empresas utilizam lenha como principal fonte energética. As demais ou não utilizam lenha ou usam uma fonte mista de combustível para a calcinação. Por meio de projeções da amostra, para o universo do Pólo Gesseiro, de cada fonte de combustível consumido obteve-se um total de 72,9% de uso da lenha, 11,6% de coque, 7,1% de BPF e 6,1% de diesel.

Atualmente, o Governo do Estado de Pernambuco vem buscando viabilizar outros combustíveis para as indústrias calcinadoras do Pólo Gesseiro. Estuda-se a possibilidade de viabilização de gás natural a um preço competitivo em relação ao da lenha. Isso se daria por meio de isenção do ICMS, instalação da Central de Distribuição Gás Natural Comprimido em Caruaru e a adaptação dos fornos para o novo combustível (COPERGÁS, 2011).

Tal medida poderia diminuir o uso da biomassa florestal da Caatinga, mas não seria uma opção viável do ponto de vista econômico e ambiental. Além dos recursos que deixarão de ser arrecadados devido a isenção do imposto, o gás natural é uma fonte não renovável de energia que contribui para o efeito estufa e tem seu preço atrelado ao do petróleo, o qual varia de acordo com a instabilidade do mercado.

Apesar de pouca divulgação algumas instituições há anos incentivam e desenvolvem pesquisas no semiárido para o uso ordenado dos recursos florestais pelo uso de planos de manejo sustentáveis da vegetação nativa visando oferecer uma alternativa sustentável para o abastecimento das indústrias consumidoras de lenha. Riegelhaupt e Pareyn (2010) apontam diversas alternativas para atender a demanda dos setores consumidores de energia no Nordeste como o plantio de florestas e o manejo sustentável da vegetação existente.

Segundo FUPEF (2007), explorando-se lenha da mata nativa na região do Araripe é possível obter em média 150 st/ha ao final de 10 anos. Utilizando como fator de empilhamento médio $3,2 \text{ st.m}^{-3}$ encontrado por Soares et al. (2006), obtém-se um valor de $46,87 \text{ m}^3/\text{ha}$. Segundo Silva (2008, 2009), para atender a demanda da produção de 4,2 milhões de toneladas das indústrias do Pólo Gesseiro do Araripe, com um consumo de estimado de 0,7 st por tonelada de gesso e um IMA de 15 st/ha, seria necessária a exploração de uma área de 247.233 hectares para a rotação de 10 anos.

Campello (2011) lista diversas instituições que desenvolvem pesquisas de âmbito socioeconômicos e florestais na região, tais como a UFRPE, IPA, SECTMA, EMBRAPA, MMA, ONU e instituições da sociedade civil. Uma opção

viável que vem sendo estudada nos últimos anos é o plantio de florestas energéticas de rápido crescimento. O resultado do trabalho dessas instituições demonstra que o *Eucalyptus* spp. possui rendimento volumétrico superior em todo semiárido nordestino quando comparado a vegetação nativa da Caatinga.

Mais recentemente, Gadelha (2010), avaliando clones de híbridos de *E. brassiana* e *E. urophylla*, no município de Araripina-PE, demonstrou um rendimento de 151,85m³/ha em média ao fim da rotação de 7 anos e meio.

O uso da vegetação nativa sob manejo pode ser uma alternativa, porém estudos vêm demonstrando que a Caatinga possui um ciclo de corte variando entre 10 e 15 anos. Tal ciclo de corte não condiz com o déficit atual de lenha legalizada que deve suprir o Pólo Gesseiro do Araripe, conforme exigência do órgão ambiental responsável, a CPRH. Foi possível constatar também que dependendo do grau de perturbação que essas áreas são submetidas pode haver diminuição de sua diversidade devido ao aparecimento de espécies pioneiras como *Croton sonderianus* e *Mimosa hostilis* (TRIGUEIRO, 2003).

Fica evidente que o Arranjo Produtivo Local do Gesso, na microrregião do Araripe, exerce influência sobre os impactos causados aos recursos naturais existentes na região, sobre tudo o que diz respeito à biomassa florestal. Um manejo sustentado da Caatinga somado a implantação de florestas energéticas de rápido crescimento podem fornecer a energia limpa que as indústrias e o meio ambiente da região necessitam.

2.2 O Eucalipto

O gênero *Eucalyptus* que possui mais de 700 espécies pertencente à família *Myrtaceae*. Por sua capacidade de adaptação o mesmo se desenvolve com facilidade a condições ambientais extremas, por exemplo, pântanos, desertos, faixas litorâneas, locais de extrema altitude e ainda locais de diferentes temperaturas, nutrição e índice pluviométrico (ARACRUZ, 2010).

Considerado como um dos gêneros botânicos de maior diversidade do reino vegetal o eucalipto apresenta diversos hábitos podendo ir de arbustos até árvores com troncos medindo mais de 132 metros de altura. As flores de várias das espécies *Eucalyptus* são protegidas por um opérculo, daí o

nome genérico, que é proveniente das palavras gregas 'eu' (bem), e 'calyptus' (coberta). As principais características atribuídas ao gênero *Eucalyptus* constituem-se de crescimento rápido, fuste reto, desrama natural e madeira com variações nas propriedades tecnológicas (OLIVER, 1995).

O eucalipto foi implantado no Brasil no início do século XX com o objetivo de suprir a necessidade de dormentes de madeira para as estradas de ferro da Cidade de São Paulo, em 1940 passou também a substituir o coque no processo de produção de minério de ferro e na década de 70 seus plantios tiveram forte impulso devido à crise do petróleo (ANDRADE, 1928; CHANDLER e HENSON, 1998; SMITH, 1989). Sua utilização inicial era tímida e se dava para composição paisagística, mas a busca por uma árvore de rápido crescimento e que pudesse fornecer postes, dormentes e lenha para a Companhia Paulista de Estradas de Ferro intensificou seu plantio. O cientista Edmundo Navarro de Andrade foi responsável pela escolha desse gênero e, além disso, ele introduziu no Horto Florestal de Rio Claro (SP) a maioria das espécies hoje plantadas no território nacional (RIZZINI, 1981).

Na década de 40, a crise dos combustíveis fósseis fez com que as siderúrgicas mineiras buscassem no carvão do *Eucalyptus* matéria prima economicamente rentável para a produção do ferro-gusa. Com o passar do tempo os diversos setores industriais que necessitam da biomassa do *Eucalyptus* spp., quer seja para a geração de energia ou produção de celulose e papel, intensificaram sua produção necessitando assim de mais matéria prima. Atualmente, segundo a ABRAF (2011), a área anual plantada de *Eucalyptus* no Brasil é de 351.411 ha, distribuída por mais de 15 Estados, totalizando 4.752.805,89 ha (Figura 1).

Os plantios dessa espécie podem ser considerados como relevante opção para diminuir as pressões ambientais que afligem a vegetação nativa, pois a espécie possui um rápido crescimento, produtividade e grande capacidade de adaptação as mais variadas condições ambientais. No Brasil tal cultura possui *know-how* de relevância mundial em tecnologia de aplicação em inúmeros setores, gerando milhares de postos de trabalho e fixando o homem ao campo (MORA e GARCIA, 2000).

A fim de obter as características fenotípicas desejadas para cada tipo de exploração comercial é possível reunir os caracteres superiores com o cruzamento de espécies distintas, gerando assim híbridos, por exemplo, com resistência ao cancro, tolerância a geadas e maior densidade a madeira. Tais resultados podem ser propagados por meio de clonagem na produção de florestas de superior qualidade (ASSIS et al., 1993). É necessário ainda levar em consideração a interação com o meio que pode vir a suprimir o fenótipo desejado.

Em todo o mundo, a demanda de recursos naturais renováveis, sobretudo aqueles que fornecem energia limpa, vem aumentando à medida que os estoques de combustíveis fósseis vão se esgotando. O Reino Unido, como a maioria dos países do hemisfério norte, procura uma alternativa ao uso do carvão mineral, buscando nos plantios de curta rotação de espécies de *Eucalyptus* spp. uma alternativa na produção de energia e calor e ainda diminuindo a emissão de carbono para atmosfera (LESLIE et al., 2012).

Diferente desses países, onde apenas algumas espécies se adaptam ao rigoroso inverno com fortes ventos e temperaturas abaixo de zero, o Brasil já comprovou a viabilidade de dezenas de procedências em todo território nacional. Foram avaliados o comportamento e a procedência de *Eucalyptus* spp. no município de Lagoa Grande, Sertão do São Francisco-PE (DRUMOND et al., 2003). Coutinho et al. (2004), também avaliaram o comportamento de *Eucalyptus* spp., mas na Zona da Mata Pernambucana.

No Estado de Pernambuco, sobretudo no Pólo Gesseiro do Araripe onde a base energética ainda é predominantemente a biomassa, faz-se necessário a seleção de espécies de Eucalipto que possam se adaptar ao clima da região e de rápido crescimento para produção de lenha e carvão. Dentre as variedades com essas características é possível citar o *Eucalyptus pellita*, *E. urophylla*, *E. brassiana* e *E. tereticornis*, sendo as duas últimas indicadas para regiões semiáridas (OLIVEIRA et al., 2010; MOURA, 2004; MOURA, 2003).

A ATECEL (2006) mostram que o consumo energético do setor industrial dessa região já era bastante diversificado utilizando 73% de lenha como fonte

de energia. O restante era distribuído entre 3% de energia elétrica, 5% de óleo diesel, 8% de óleo BPF e 10% de coque.

Porém, a forte dependência energética da biomassa florestal não faz com que seu consumo se dê se forma racional, pois apenas 3% da lenha usada na indústria do gesso provêm de planos de manejo florestal sustentável (CAMPELLO, 2011).

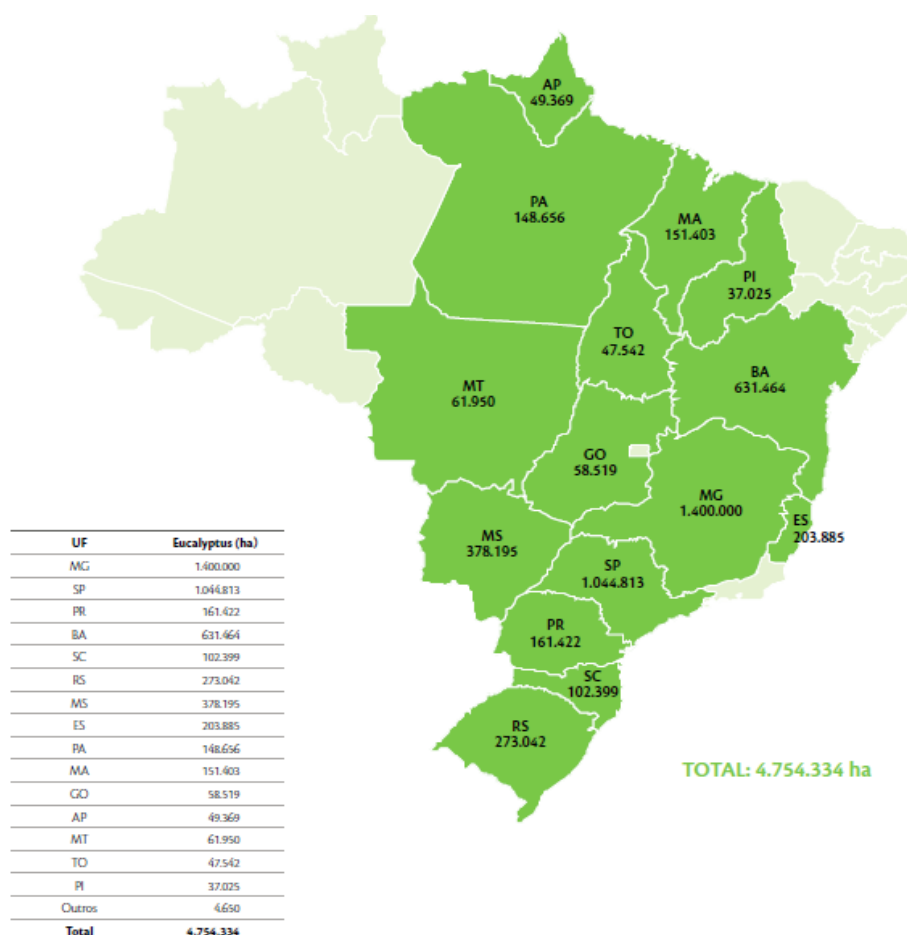


Figura 1. Distribuição dos plantios de *Eucalyptus* spp. no Brasil (ABRAF, 2011).

As aplicações dadas a essa espécie vão muito além do uso de sua polpa para a produção de celulose ou de sua madeira para lenha e carvão. É possível extrair óleos essenciais para a produção de produtos alimentícios e de limpeza, perfumes e até remédios. Sua madeira fornece uma gama de

subprodutos que subsidiam a indústria da construção civil e naval. Em 2010, o setor florestal gerou um total de 4,7 milhões de postos de trabalho (entre empregos diretos, indiretos e efeito-renda), com um saldo positivo de 47 mil pessoas contratadas (ABRAF, 2011).

Tendo em vista a enorme variedade dessa planta, Angeli (2005) ressalta a importância da definição da espécie como etapa principal num projeto de reflorestamento dando destaque a necessidade levantamento bibliográfico de dados experimentais e aplicação de testes de adaptação ao ambiente em sementes e clones. Em caso da não existência prévia de informações deve-se escolher espécies de procedência com condições de latitude, altitude, temperatura média anual, déficit hídrico e tipos de solo semelhantes ao local do plantio.

Os plantios de *Eucalyptus* spp. dão grande contribuição na diminuição de emissão de carbono para a atmosfera, tendo em vista que o uso sem planejamento e ilegal das florestas nativas para produção de energia libera o estoque de carbono por elas acumuladas durante o transcorrer dos anos. O carbono atmosférico (CO₂) “sequestrado” pelos plantios de espécie de rápido crescimento pode chegar a 1,8 toneladas para cada tonelada de madeira produzida, resultando num saldo de 1,3 toneladas de oxigênio liberado na atmosfera (MORA e GARCIA, 2000).

Mesmo assim a cultura do *Eucalyptus* é comumente associada de maneira exagerada a desertos verdes, alelopatia e esgotamento de recursos hídricos. Alencar et al. (2011), estudando um sub bosque de *Eucalyptus saligna* mostrou que a regeneração natural de espécies nativas não só é possível como o *Eucalyptus* cumpriu seu papel ecológico como pioneira favorecendo a sucessão ecológica.

Silva (2008, 2009), usando dados preliminares do “MÓDULO DE EXPERIMENTAÇÃO FLORESTAL PARA O PÓLO GESSEIRO DO ARARIPE/PE” demonstrou que o plantio de clones de eucalipto possui grande vantagem em relação ao manejo florestal sustentável da Caatinga em termos de área necessária para atender a demanda de lenha do setor industrial e residencial.

O simples fato da silvicultura do eucalipto fornecer madeira em maior volume por menor unidade de tempo e área possibilita a diminuição da devastação sofrida pela flora local, o que traz inúmeras vantagens ecológicas como proteção da fauna, preservação dos mananciais e melhoria da qualidade de água disponível.

2.3 Crescimento em altura

Karkash (2006) entende o crescimento de um indivíduo como o incremento de tamanho de todo um organismo ou parte dele com o passar do tempo. Os principais fatores limitantes que afetam o crescimento de uma árvore são a herança genética e o meio. O genótipo, potencial ou limitante, relacionado ao crescimento é influenciado, estimulado ou limitado pelo meio, formando assim o fenótipo.

Isso se dá devido ao fato que um meio desfavorável pode reduzir um fator potencial interferindo em diversos processos biológicos fundamentais, tais como fotossíntese, transpiração, respiração, abertura e fechamento de estômatos e assimilação e absorção de nutrientes (CAMPOS, 2006). Segundo Finger (2006), os principais fatores ambientais que interferem nos fatores genéticos são climáticos, edáficos, topográficos e competição.

Nas árvores, o crescimento se deve a atividade meristemática fazendo com que essa aumente o seu volume por meio do alongamento (crescimento apical do meristema primário) e engrossamento (crescimento do meristema secundário ou câmbio) (FINGER, 2006). No setor florestal, os dados de crescimento mais importantes estão relacionados à estimativa do volume de madeira do povoamento, geralmente obtido com o uso das variáveis diâmetro a altura do peito e da altura do indivíduo. Peng e Wen (1999) reafirma esta colocação quando destaca essas mensurações como fundamentais para o inventário florestal, podendo assim estimar diversas variáveis, dentre as quais, além do volume de madeira, o índice de sítio e outras relacionadas ao crescimento e produção florestal, sucessão e modelos de estoque de carbono.

Segundo Aranda et al. (2003) o crescimento do diâmetro é influenciado principalmente pelo tipo de trato silvicultural, especificamente o desbaste

aplicado ao povoamento. A diminuição da competição entre indivíduos, devido a uma baixa densidade, favorece o desenvolvimento diamétrico. A altura é também influenciada pelos tratamentos silviculturais relacionados ao crescimento do diâmetro, como podas e desbastes, porém, segundo argumentação de Koehler (2009), as condições climáticas tem maior peso na formação da gema apical.

São diversas as medidas biométricas arbóreas estudadas nas pesquisas florestais: tamanho de copa, tamanho de frutos e biomassa de raízes, porém, o diâmetro a altura do peito e a altura total das árvores se relacionam diretamente com a volumetria. O diâmetro, medida de obtenção direta, tem como instrumentos de aferição mais comuns a fita diamétrica e a suta, geralmente utilizado como variável independente em modelos de relações hipsométricas (SOARES et al., 2006).

A altura, é uma variável dendrométrica de equivalente importância para obtenção do volume da árvore ou do povoamento e, em conjunto com a idade, determina o índice de sítio (SOARES et al., 2006; CAMPOS e LEITE 2006). Os instrumentos responsáveis pela estimativa da altura são genericamente conhecidos como hipsômetros, podendo ser baseados em princípios geométricos (relação entre triângulos) ou trigonométricos (relação entre ângulos e distância) (SOARES et al., 2006).

No levantamento dos dados dendrométricos em inventários florestais podem ocorrer diversas fontes de erros sistemáticos e amostrais. Enquanto os erros sistemáticos estão relacionados com medições de altura, CAP, densidade básica, dentre outras, os erros amostrais estão atrelados com o sistema de amostragem escolhido para a seleção das árvores para as equações de volume ou massa, relações hipsométricas e no tamanho, forma e seleção de parcelas (COUTO, 1988).

Faz-se necessário a escolha do instrumento que melhor atenda as necessidades e limitações do inventariante e o mesmo deve ser utilizado por um operador treinado, minimizando assim os erros de medição. Os principais erros estão associados ao objeto (inclinação ou sobreposição de copas), ao instrumento (calibragem) ou ao observador (erro da leitura ou inabilidade) (FINGER, 2006).

2.4 Relações hipsométricas

Em busca da redução de custos, diversos pesquisadores vêm desenvolvendo modelos que expressem a relação entre o diâmetro e a altura das árvores, denominada relação hipsométrica. Andrade et al. (2006) descrevem que relações hipsométricas são expressões matemáticas que relacionam a altura das árvores com variáveis como idade, altura dominante, diâmetro médio, área basal e DAP.

Freitas et al. (2005) comentam sobre a dificuldade do levantamento da altura total e comercial como um dos fatores que oneram os custos de um inventário florestal. Tomé et al. (2007) reforçam essa afirmação ao dizer que a estimativa do volume do povoamento, obtido pela medição do volume individual (total ou comercial) das árvores que o compõe, pode ser conseguido com por um meio não destrutivo. Uma alternativa seria o ajuste de modelos hipsométricos, uma vez que o processo de medição é deveras dispendioso em termos de tempo e dinheiro.

É possível classificar essas relações de duas formas: locais ou gerais. As relações hipsométricas locais são funções apenas do DAP e podem ser aplicadas apenas para o povoamento em que os dados foram medidos ou em povoamento com características homogêneas. As relações hipsométricas gerais além de recorrerem ao DAP também exprimem a altura da árvore em função da altura dominante, o diâmetro dominante, a densidade, a idade e, eventualmente, a própria localização do povoamento (TOMÉ et al., 2007).

Prodan et al. (1997), citado por Bartoszeck et al. (2004) e Barros et al. (2002), explicam que existe uma variabilidade dentro de um povoamento, devido principalmente a diversos fatores como sítio, idade e espaçamento o que torna o ajuste de apenas uma relação hipsométrica pouco preciso.

Scolforo (1993) descreveu que povoamentos pequenos, homogêneos, bem definidos e conduzidos apresentaram forte correlação entre as variáveis altura e diâmetro quando comparados com povoamentos mais antigos, de má formação ou mal conduzidos. O autor discute ainda que ao se tentar ajustar modelos de relações hipsométricas foi preciso observar diversos fatores que

influenciam no crescimento do povoamento, tais como espécie, ciclo, rotação, posição sociológicas e idade. Além disso, fez-se necessário a classificação e separação dos sítios quanto ao solo, relevo clima, dentre outros, para que essas variações sejam minimizadas durante os procedimentos estatísticos.

Schneider et al. (2009) dizem que a estimativa de uma variável dependente pode ser feita por meio de modelagem de dados por regressão, um procedimento estatístico que busca ajustar um modelo matemático qualquer que envolva diversas variáveis correlacionadas. Com esse objetivo, faz-se necessário avaliar a equação que foi ajustada por meio de testes estatísticos, obtendo-se assim a equação de maior precisão.

Modelos de regressão lineares são definidos como aqueles cuja a estrutura se encontra na forma aditiva dos parâmetros. Para Charnet et al. (2008) os modelos lineares descrevem a variável Y_i como a soma de uma quantidade determinística (x_i) e uma quantidade aleatória (ε_i) de inúmeros fatores que podem, conjuntamente, ter influência sobre Y_i e podem assumir as seguintes formas: modelos lineares simples e modelos lineares múltiplos.

a) Simples

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i$$

Múltiplos

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \varepsilon_i$$

Em que:

Y_i = variável dependente;

X_i = variável independente;

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$ = parâmetros da regressão; ε_i = erro da estimativa.

Draper e Smith (1981) classificam modelos não lineares como aqueles que possuem seus parâmetros agregados na forma não aditiva. Esses podem ser classificados como linearizáveis e não linearizáveis.

Linearizável:

$$Y_i = \beta_0 \cdot X_i^{\beta_1} + \varepsilon_i$$

Sendo sua forma linearizada expressa como:

$$\ln Y_i = \ln \beta_0 + \beta_1 \ln X_i + \ln \varepsilon_i$$

Não linearizável:

$$Y_i = \frac{\beta_1}{1 + \exp\left(\frac{\beta_2 - X_i}{\beta_3}\right)} + \varepsilon_i$$

Ratkowsky (1983) ressalta que os modelos de regressão não lineares diferem dos modelos lineares devido aos estimadores do quadrado médio de seus parâmetros não serem tendenciosos, não apresentarem distribuição normal e a variância mínima. Os estimadores alcançam estas propriedades somente assintoticamente, com uma amostra de tamanho próximo ao infinito. Alguns modelos de regressão não lineares têm estimadores que são tendenciosos, com altíssima assimetria, distribuição não normal de “cauda longa” e com uma variância que excede o limite mínimo.

Diversas são as estatísticas utilizadas para seleção de modelos, Akaike (AIC), critério de informação Bayesiano (BIC), teste da razão da máxima verossimilhança (TRMV), porém segundo Danadoni et al. (2010), Ribeiro et al. (2010), Tomé et al. (2007) é mais comum observar na literatura o coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de determinação ajustado (R_{aj}^2), Erro padrão da estimativa (Syx), em percentual (Syx%) e interpretação da distribuição gráfica dos resíduos percentuais.

Horle et al. (2010), ao avaliarem acurácia de modelos lineares e não lineares na estimativa do perfil de *Pinus oocarpa*, verificaram que o modelo não linear logístico era o mais acurado com base nas estatísticas de critério de informação de Akaike (AIC), critério de informação Bayesiano (BIC), teste da

razão da máxima verossimilhança (TRMV), erro padrão da estimativa e gráfico de resíduos.

Avaliando equações hipsométricas, volumétricas e *taper* em espécies nativas na Mata da Silvicultura, município de Viçosa – MG, Soares et al., (2011), determinaram que o modelo $Ht_i = \beta_0 \cdot \exp\left(\frac{\beta_1}{DAP_i}\right) + \varepsilon_i$ foi o que melhor se ajustou a maioria das espécies por ter os melhores valores de R^2 e $S_{yx}\%$.

Azevedo et al. (2011) selecionaram equações hipsométricas e volumétricas para um povoamento de 16 ha de *Eucalyptus* spp., na FLONA do Ibura, Nª Senhora do Socorro – SE. Os pesquisadores selecionaram o modelo linear simples como o que melhor se ajustou aos dados do censo realizado. Por meio da análise gráfica do resíduo percentual constataram homogeneidade na variação entre os dados reais e estimados. Contudo, os ajustes das equações hipsométricas não foram satisfatórios, pois não foi levado consideração diferenças de idade e a falta de tratos silviculturais.

Guimarães et al. (2009) obtiveram redução de 17% no valor do erro padrão da estimativa ao incluir covariantes relacionadas com idade e fatores genéticos aos modelos de relações hipsométricas. O modelo logístico apresentou o melhor ajuste para os dados de uma plantio de *Eucalyptus* ssp. na região sul do estado da Bahia.

Dentre os diversos trabalhos que de uma maneira prática organizaram e avaliaram diversos modelos de relações hipsométricos temos Fang e Bailey (1998), citados por Batista et al. (2001), Curtis (1967), Finger (2006), Bartoszek et al. (2002), Moraes Neto et al. (2010). Dentre os modelos apresentados nos trabalhos temos os polinomiais, hiperbólicos, potência, semilogarítmico, dentre outros. Poucos foram os trabalhos acadêmicos relacionados a relações hipsométricas no estado de Pernambuco. Jorge et al. (2009) apontaram a necessidade do ajuste de modelos lineares e não lineares que envolvam outras variáveis independentes além do CAP.

Thomas et al. (2006) citaram que apesar da eficiência de alguns modelos não era possível aplica-los a todas as condições, espécie e sítios, sendo melhor testa-los em cada caso por meio de estatística adequada. Para

garantir a representatividade em toda amplitude diâmetro/altura das parcelas, fundamental para a correta aplicação de uma regressão, foi preciso selecionar uma metodologia de amostragem adequada (RIBEIRO et al., 2010).

2.5 Seleção de modelos de regressão

Silva (1977), citado por Silva (2008, 2009), diz que a equação ajustada deve ser escolhida por possuir a menor quantidade de variáveis independentes e que estas sejam de fácil medição. Segundo Schneider et al. (2009) para selecionar a melhor equação de regressão é necessário seguir três etapas:

- Obter representatividade e suficiência amostral na seleção do número de árvores;
- Medição das variáveis dependentes e independentes;
- Selecionar a melhor equação segundo critérios estatísticos.

Os parâmetros estatísticos comumente empregados na seleção de equações são: coeficiente de determinação ajustado (R_{aj}^2), Erro padrão da estimativa em % ($S_{yx}\%$) e interpretação da distribuição gráfica dos resíduos percentuais .

Segundo Charnet et al. (2008) o coeficiente de terminação R^2 pode ser interpretado como a porção da variabilidade das observações da variável dependente explicadas pelo modelo considerado, sendo obtido pela razão entre a Soma do Quadrado da Regressão pela Soma do Quadrado Total.

A Soma do Quadrado Total de Y (SQT) é obtida por meio da adição da Soma de Quadrados dos Resíduos (SQE) com a Soma do Quadrado da Regressão (SQReg).

Tendo em vista que quando menor for SQE maior será a aproximação do SQReg com o SQT, logo, numa situação hipotética o ajuste será perfeito quando $SQE = 0$.

Schneider et al. (2009), adverte que o coeficiente é crescente a medida que se inclui uma nova variável ao modelo de regressão, fazendo-se necessário ajusta-lo de acordo com o número de coeficientes da equação.

Outro índice estatístico bastante utilizado para selecionar equações de ajuste superior é o erro padrão da estimativa (S_{yx}), ao qual deve ser escolhida pelo menor valor apresentado. Para o autor essa estatística de seleção de equações é uma medida de dispersão entre os valores observados e estimados pela regressão, Meyer (1938), citado pelo mesmo autor, apresenta o erro de estimação em porcentagem, como uma alternativa para comparação de equações com variáveis dependentes de diferentes unidades.

Essas estatísticas de seleção dos modelos apesar de sua eficiência comprovada não podem ser as únicas utilizadas para uma melhor seleção. Em geral, os gráficos de resíduos percentuais são um critério importante que possibilita a verificação do ajuste da equação ao longo de toda a amplitude dos dados. Essa análise possui grande relevância na avaliação da qualidade das estimativas, sendo possível observar se há ou não tendência na estimativa da variável dependente ao longo de toda a linha de regressão (SCOLFORO et al., 2004).

A plotagem desses resíduos percentuais gera a dispersão ao longo da amplitude de dados estimados, auxiliando assim a tomada de decisão quanto ao melhor modelo a se utilizar. Geralmente o S_{xy} é considerado para selecionar os melhores ajustes de dados sendo o R_{aj}^2 utilizado para caso de empate (MORAES NETO et al., 2010).

3. Material e Métodos

3.1 Local do experimento

A área do experimento se localiza na Chapada do Araripe, mais precisamente na Estação Experimental do Instituto de Agrônomo de Pernambuco – IPA, município de Araripina, Semiárido do Estado de Pernambuco (Figura 2).

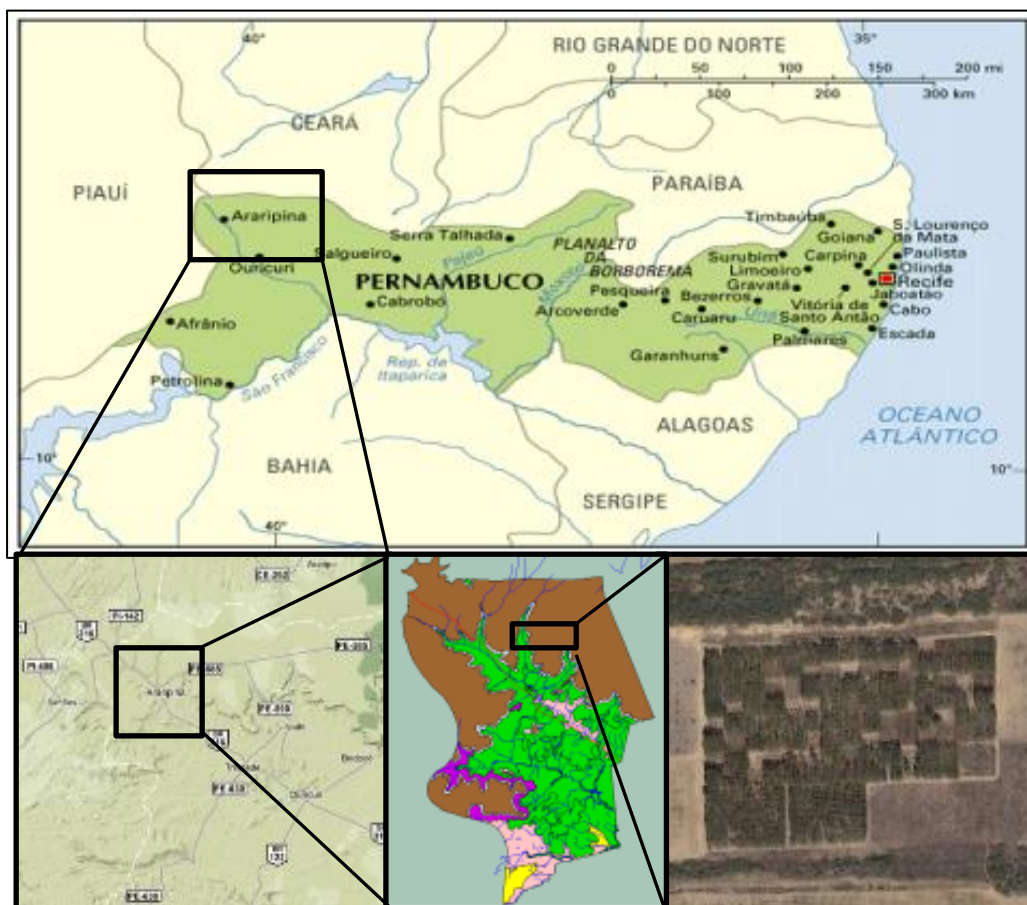


Figura 2. Localização do município de Araripina-PE e imagem de satélite do experimento.

A estação fica a 18 km da sede do município, com coordenadas geográficas de posição 07°29'00' S e 40°36'00' W e altitude de 816 m. A região apresenta precipitação de 760 mm.ano⁻¹, concentrando-se entre de janeiro a abril. Nesse período chuvoso a temperatura varia de 21,2 a 25°C e podendo chegar 31,2 a 31,7 °C nos meses de outubro a dezembro (Figura 3) (ARAÚJO, 2004). O solo é do tipo latossolo vermelho-amarelo e o clima é quente e seco com chuvas de verão, BShw' de Köppen (ALVES, 2007).

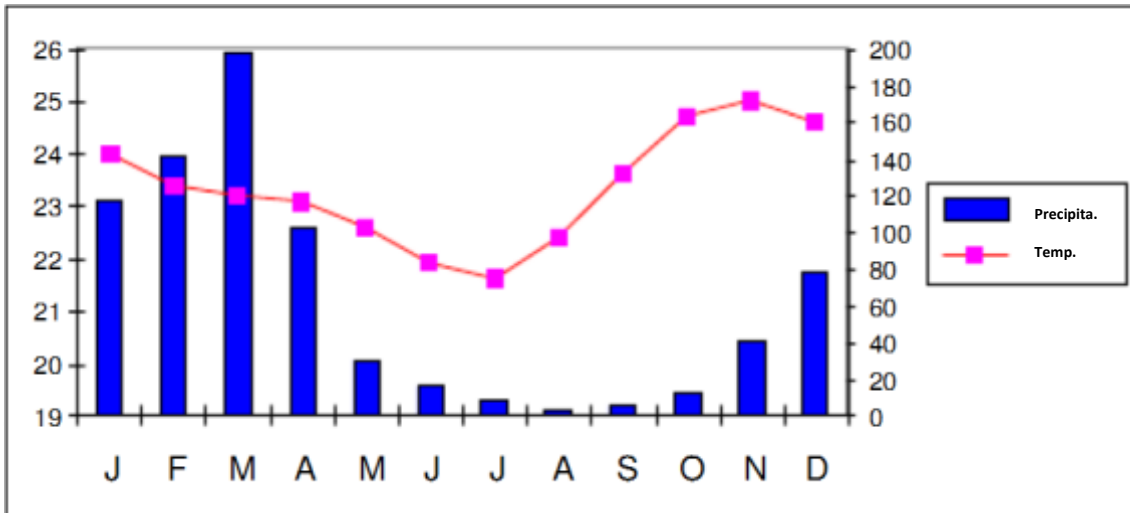


Figura 3. Distribuição da precipitação e temperatura média do município de Araripina-PE.

As parcelas eram compostas de 49 plantas, sendo a área útil (aquela que sofre menor influência externa) composta de 25 plantas (Figura 4). Durante o período do experimento não foram feitas podas ou desbastes propriamente ditos, pois algumas árvores foram abatidas para cubagem. Cada parcela possuía ao todo 294 m² e a área útil 150 m². As mudas dos 15 clones de eucalipto foram produzidas na Comercial Agrícola Paineiras LTDA, localizada no município de Urbano Santo – MA (Tabela 1).

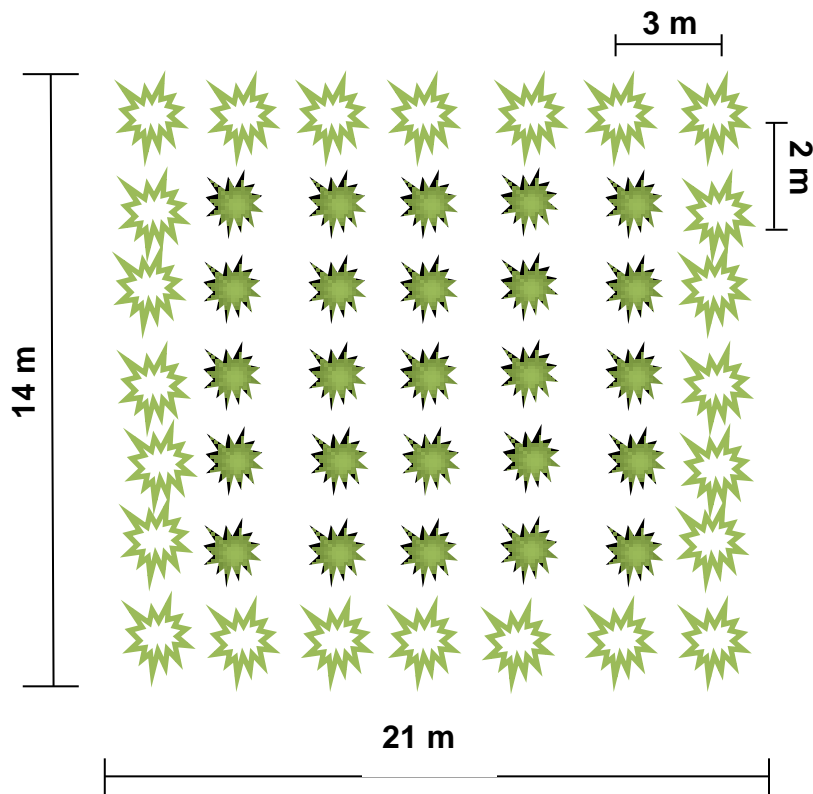


Figura 4. Área total da parcela com representação da área útil pelas 25 árvores úteis (centrais) e 24 da borda.

Tabela 1. Clones de *Eucalyptus* spp. utilizados no Módulo de Experimentação Florestal para a Região do Araripe, em Araripina-PE, dos quais foram retirados os dados de CAP e altura para a pesquisa.

Trat.	Clone	Descrição
1	C49	Híbrido de <i>Eucalyptus tereticornis</i> (cruzamento natural)
2	C80	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> (polinização controlada)
3	C315	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> (polinização controlada)
4	C101	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> (polinização controlada)
5	C78	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> (polinização controlada)
6	C156	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> x <i>E. pellita</i> (polinização controlada)
7	C39	Híbrido de <i>E. urophylla</i> (cruzamento natural)
8	C27	Híbrido de <i>E. brassiana</i> (cruzamento natural)
9	C51	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> (polinização controlada)
10	C158	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> (polinização controlada)
11	C41	Híbrido de <i>E. urophylla</i> (cruzamento natural)
12	C31	Híbrido de <i>E. brassiana</i> (cruzamento natural)
13	C25	Híbrido de <i>E. brassiana</i> (cruzamento natural)
14	C33	Híbrido de <i>E. urophylla</i> (cruzamento natural)
15	C11	Híbrido de <i>E. brassiana</i> (cruzamento natural)

Todos os clones tiveram origem na região de Queensland, Austrália, exceto os de cruzamento natural C49, C39, e C27 e as plantas de polinização controlada, C156.

3.2 Mensuração das árvores

Ao longo de 7,5 anos do experimento foram mensuradas a CAP (com casca) e a altura total de 1.215 árvores do total de 1500 plantas úteis a cada 6 meses. Os instrumentos de medição foram fita métrica para a CAP, graduada em centímetros com aproximação em milímetros, e para a altura trena graduada em centímetros e clinômetro digital. As árvores foram cortadas aos 90 meses de idade a uma altura de 0,30 m do nível do solo seguida da determinação da altura total, considerada como a distância do solo até a outra extremidade da árvore.

3.3 Análise estatística

O experimento inicial foi considerado casualizado em blocos (Figura 5). Para se comprovar a efetividade dos blocos, aos 90 meses foi realizada a ANOVA e calculada a Eficiência Relativa de Blocos, segundo Silva e Silva (1999).

10		13	4			9	13
9		12	6	2		8	10
8		2	14	6	13		5
7		1	15	10	5	6	3
6		11		8		15	14
5	15			12	3	12	7
4	14		9	1	15		1
3	13	10	8	11	7		
2	12	5		9	14	4	11
1	11	3	7		4		2

Figura 5. Distribuição dos 15 clones de *Eucalyptus* spp. utilizados no Módulo de Experimentação Florestal para a Região do Araripe, em Araripina-PE entre as parcelas de seus respectivos blocos.

Por empregar um número elevado de tratamentos (15 clones) e para evitar a superposição de várias médias, utilizou-se o teste de Scott-Knott (SCOTT-KNOTT, 1974).

Os dados de CAP e altura foram avaliados quanto a presença de dados discrepantes ou outliers no gráfico Box plot e os ajustes foram refeitos e considerados quando a eliminação dos outliers contribuía para a melhoria do ajuste.

Os resultados obtidos das estatísticas de seleção dos modelos (R_{aj}^2 e S_{xy}) foram organizados em forma de um Rank onde se aplicou uma formatação condicional de contraste de cores (verde, amarela e vermelha) para melhor visualização dos resultados. Onde o R_{aj}^2 variou do maior (verde) para o menor valor (vermelho), sendo o inverso aplicado ao S_{xy} .

3.4 Modelos hipsométricos

Neste trabalho recorreu-se a literatura florestal para seleção inicial dos modelos (Tabela 2), sendo que em grande parte esses possuíam CAP e idade ou somente CAP como variável dependente.

Com o objetivo de controlar a heterogeneidade ambiental e melhor avaliar os resultados de um grande número de tratamentos, o estatístico deve optar por um tipo de delineamento que possua um maior controle local (SILVA et al., 2000).

Entretanto, por ser impossível controlar todos os fatores que influenciam o experimento, sobretudo os de campo devido ao efeito do sítio, clima e demais fatores externos, recomendou o autor que escolher o melhor arranjo para fazer um teste de hipótese com baixo erro experimental.

Tabela 2. Relação de modelos hipsométricos aplicados aos dados de altura, CAP e idade dos Clones de *Eucalyptus* spp. em Araripina-PE.

Modelos lineares e não lineares		
Parabólico	1	$H_i = \beta_0 + \beta_1 CAP_i + \beta_2 CAP_i^2 + \beta_2 l_i + \varepsilon_i$
Hiperbólicos	2	$H_i = \beta_0 + \beta_1 (1/CAP_i^2) + \beta_2 l_i + \varepsilon_i$
Potencial	3	$\ln(H_i) = \beta_0 + \beta_1 \ln(CAP_i) + \beta_2 l_i + \varepsilon_i$
Exponencial	4	$\ln(H_i) = \beta_0 + \beta_1 (1/CAP_i) + \beta_2 l_i + \varepsilon_i$
Semilogarítmico	5	$H_i = \beta_0 + \beta_1 \ln(CAP_i) + \beta_2 l_i + \varepsilon_i$
Schumacher	6	$\ln(H_i) = \ln(\beta_0) + \beta_1 \ln(CAP_i) + \beta_2 \ln(1/l_i) + \varepsilon_i$
Schumacher-Hall	7	$\ln(H_i) = \ln(\beta_0) + \beta_1 \ln(CAP_i) + \beta_2 \ln(l_i) + \varepsilon_i$
Petterson	8	$H_i = \{1/(\beta_0 + \beta_1 (1/CAP_i) + \beta_2 l_i)\}^3 + \varepsilon_i$
Prodan	9	$H_i = (CAP_i^2 / (\beta_0 + \beta_1 CAP_i + \beta_2 CAP_i^2 + \beta_3 l_i)^{-1}) + 1,3 + \varepsilon_i$
Chapman-Richards	10	$H_i = \beta_0 [1 - \exp(-\beta_1 CAP_i)]^{\beta_2} + \varepsilon_i$
	11	$H_i = \beta_0 [1 - \exp(-\beta_1 l_i)]^{\beta_2} + \varepsilon_i$
	12	$H_i = \beta_0 [1 - \exp(-\beta_1 CAP_i l_i)]^{\beta_2} + \varepsilon_i$
Weibull	13	$H_i = \beta_0 [1 - \exp(-\beta_1 CAP_i^{\beta_2})] + \varepsilon_i$
	14	$H_i = \beta_0 [1 - \exp(-\beta_1 l_i^{\beta_2})] + \varepsilon_i$
	15	$H_i = \beta_0 [1 - \exp(-\beta_1 CAP_i l_i^{\beta_2})] + \varepsilon_i$
Silva-Bailey	16	$H_i = \beta_0 \exp(\beta_1 (\beta_2^{CAP_i})) + \varepsilon_i$
	17	$H_i = \beta_0 \exp(\beta_1 (\beta_2^{l_i})) + \varepsilon_i$
	18	$H_i = \beta_0 \exp(\beta_1 (\beta_2^{CAP_i l_i})) + \varepsilon_i$

Fonte: Bartoszekc (2004); Batista et al. (2001); Brito et al. (2007); Moraes Neto et al. (2010).

Em que:

H_i = altura total das árvores individuais (m);

CAP_i = circunferência a altura do peito (cm)

I_i = Idade (meses);

Ln = logaritmo natural;

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ = parâmetros dos modelos;

ε_i = erro aleatório;

Para controlar os fatores ambientais e demais fatores que podem influenciar no experimento foi aplicado o teste de eficiência relativa do delineamento em blocos em relação ao inteiramente ao acaso com a expressão:

$$ER = \frac{(j - 1)QMB + j(i - 1)QMR}{(ij - 1)QMR}$$

Em que:

ER = eficiência relativa dos blocos;

j = número de blocos;

i = número de tratamentos;

QMB = quadrado médio de blocos;

QMR = quadrado médio de resíduo.

Os dados dos 15 clones estudados, divididos em dois grupos, formado no teste de Scott-Knott para a altura, na idade de corte (90 meses) utilizando-se a CAP e idade como variáveis independentes foram empregados no ajuste de 18 modelos, lineares e não lineares, para estimar a altura das árvores (variável dependente). Os resultados foram avaliados visualmente por gráficos de dispersão de resíduos em função da altura estimada e de alturas real e estimada em função da idade.

3.5 Seleção das equações hipsométricas

O coeficiente de determinação ajustado (R_{aj}^2), Erro padrão da estimativa em porcentagem ($S_{yx}\%$) e interpretação da distribuição gráfica dos resíduos percentuais foram calculados de acordo com as seguintes fórmulas:

1) Coeficiente de determinação (R^2):

$$R^2 = \frac{b_1 \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} = \frac{SQReg}{SQT}$$

$$SQT = SQE + SQReg$$

Em que:

b_i = coeficiente da equação;

X_i = variáveis independentes;

\bar{X}_i = média das variáveis independentes;

Y_i = variável dependente;

\bar{Y}_i = média da variável dependentes;

SQReg = soma do quadrado da regressão;

SQE = soma do quadrado do resíduo;

SQT = soma de quadrados total;

2) Coeficiente de determinação ajustado (R_{aj}^2)

$$R_{aj}^2 = R^2 - \left[\frac{K-1}{N-K} \right] \cdot (1 - R^2)$$

Sendo

R_{aj}^2 = coeficiente de determinação ajustado

K = número de variáveis independentes da equação;

N = número de observações;

R^2 = coeficiente de determinação.

3) Erro padrão da estimativa (S_{yx})

$$S_{yx} = \sqrt{QM_{\text{resíduo}}}$$

4) Erro padrão da estimativa em porcentagem ($S_{yx}\%$)

$$S_{yx}\% = \frac{S_{yx}}{\bar{y}} 100$$

5) Distribuição do resíduo em porcentagem

$$E_i = \frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \cdot 100$$

Em que:

E_i = resíduo em porcentagem;

Y_i = variável dependente;

\hat{Y}_i = variável dependente estimada;

Para o processamento dos dados e na elaboração de planilhas, gráficos e tabelas foram utilizados os programas SYSTAT 13, em versão de demonstração, ASSISTAT versão 7.4 (2011) e o pacote Microsoft Office®, em sua versão 2010, todos para o sistema operacional Windows®.

4. Resultados e Discussão

4.1 Estatísticas de seleção dos modelos

Para testar a significância dos blocos, realizou-se a ANOVA na idade do corte (90 meses), obtendo-se os resultados observados na Tabela 3.

Tabela 3. ANOVA das médias de altura do experimento em blocos casualizados.

FV	G.L	SQ	F
Blocos	3	32,5623	14,7719
Tratamentos	14	42,2778	4,1098 **
Resíduo	42	30,8608	
Total	59	105,7009	

(**) significativo ao nível de 1% de probabilidade

O resultado da aplicação do teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade ao conjunto de dados de altura (Tabela 1C) resultou-se em dois grupos conforme é possível observar na Tabela 4. Os clones foram divididos em dois grupos, sendo o Grupo 1 constituído dos clones 5, 7, 11 e 15 e o Grupo 2 composto dos demais clones (Tabela 5).

Tabela 4. Média de altura de plantas de *Eucalyptus* spp. e seus respectivos grupos pela aplicação do teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade aos 90 meses na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA, em Araripina-PE.

Tratamento	Altura (m)	Clone	Descrição
15	18,6 a	C11	Híbrido de <i>E. brassiana</i> (c.n)
7	17,8 a	C39	Híbrido de <i>E. urophylla</i> (c.n)
11	17,5 a	C41	Híbrido de <i>E. urophylla</i> (c.n)
5	17,3 a	C78	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> de (p.c)
9	16,8 b	C51	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> (p.c)
13	16,7 b	C25	Híbrido de <i>E. brassiana</i> (c.n)
14	16,6 b	C33	Híbrido de <i>E. urophylla</i> (c.n)
10	16,6 b	C158	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> (p.c)
4	16,4 b	C101	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> de (p.c)
6	16,4 b	C156	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> x <i>E. pellita</i> (p.c)
8	16,2 b	C27	Híbrido de <i>E. brassiana</i> (c.n)
1	16,2 b	C49	Híbrido de <i>Eucalyptus tereticornis</i> (c.n)
2	15,7 b	C80	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> de (p.c)
12	15,5 b	C31	Híbrido de <i>E. brassiana</i> (c.n)
3	15,3 b	C315	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> de (p.c)

c.n = cruzamento natural; p.c = polinização controlada; CV% = 5,15

Os modelos de relação hipsométrica apresentaram boas estatísticas de ajuste, sobretudo o modelo 1 (Polinomial), 4 (Exponencial) e 5 (Semilogarítmico), nesta ordem, mostram os menores valores de erro padrão da estimativa ($S_{xy}\%$) (Tabela 5). Por outro lado, os 3 maiores valores de $S_{xy}\%$ foram observados nas equações 18 (Silva-Bailey), 10 (Chapman-Richards) e 13 (Weibull). Tais resultados foram semelhantes para os grupos 1 e 2.

Tabela 5. Rank da estatística de ajuste dos modelos hipsométricos para *Eucalyptus* spp. na Chapada do Araripe-PE.

Modelos lineares e não lineares		Grupo 1		Grupo 2	
		$R^2_{aj}\%$	$S_{yx}\%$	$R^2_{aj}\%$	$S_{yx}\%$
Polinômio	1	92,89%	8,33%	90,69%	4,53%
Hiperbólicos	2	87,45%	11,01%	84,22%	5,90%
Potencial	3	88,89%	10,36%	87,16%	5,32%
Exponencial	4	92,19%	8,69%	90,12%	4,67%
Semilogarítmico	5	92,35%	8,60%	90,35%	4,61%
Schumacher	6	88,94%	10,34%	87,07%	5,34%
Schumacher-Hall	7	91,42%	9,11%	89,44%	4,82%
Peterson	8	91,32%	9,16%	89,27%	4,86%
Prodan	9	89,07%	10,28%	88,29%	5,08%
Chapman-Richards	10	80,10%	13,88%	78,70%	6,85%
	11	85,41%	11,88%	84,99%	5,75%
	12	91,95%	8,82%	89,82%	4,74%
Weibull	13	80,51%	13,74%	79,16%	6,77%
	14	85,47%	11,86%	85,05%	5,74%
	15	90,71%	9,48%	88,56%	5,02%
Silva-Bailey	16	80,47%	13,73%	79,35%	6,35%
	17	84,43%	12,27%	83,95%	6,04%
	18	63,02%	18,91%	62,51%	9,79%

4.2 Análise da distribuição dos resíduos percentuais em função da altura estimada

Os gráficos de resíduo percentual se mostraram necessários para a confirmação da seleção das melhores equações, mesmo quando os valores do índice de ajuste R_{aj}^2 e de precisão S_{xy} apresentem os resultados desejados (Figuras 1A e 2A), assim como no trabalho de Moraes Neto et al. (2010).

A análise gráfica mostrou que todos os modelos apresentaram tendenciosidade, seja subestimando ou superestimando. Tal fato esteve presente, sobretudo, na fase inicial do desenvolvimento dos clones de eucaliptos. Tomé et al. (2007) consideraram que isso não deve ser motivo para eliminação do modelo em potencial, pois, nessa fase, as árvores que possuem CAP próximos de 10 cm não deveriam contabilizadas para o volume da parcela em inventários florestais dependendo do objetivo do manejo.

As equações que apresentaram as melhores distribuições do resíduo percentual ao longo a linha de regressão foram as resultantes do ajuste dos dados aos modelos 1, 4 e 5 (Figuras 6 e 7) para os grupos 1 e 2, confirmando as estatística de seleção observadas na Tabela 6.

No gráfico de resíduo percentual do modelo 1 do Grupo 1 (Figura 6) haverá uma subestimação da altura da árvore na idade próxima ao corte, fato também observado por Santos (2006) que constatou a mesma tendência desse modelo em árvores *Araucaria angustifolia* de maior diâmetro devido a forma de parábola inerente ao mesmo.

Apesar de ter a melhor estatística de ajuste nos dois grupos, o Modelo 1 apresentou uma aderência pouco confiável junto a linha de regressão no Grupo 1 (Figura 6). Tal fato foi alertado por Batista et al. (2001) quando dizem que o mesmo tende à extrapolação para regiões fora da amplitude da amostra, resultando em grandes erros para os valores estimados de altura.

Isso pode justificar a seleção da equação hipsométrica 5 (semilogarítmico) como a responsável pelo melhor ajuste ao dados do Grupo 1, tendo em vista que essa não apresentou os problemas relacionados ao modelo 1 e sua variável dependente não sofreu transformação, como ocorreu

no caso do modelo 4 onde a $\ln(H_i)$ é a variável dependente, evitando-se a necessidade de uma correção por discrepância logarítmica, conforme mencionado por Machado et al. (2003).

As equações resultantes dos modelos 1, 4 e 5 apresentaram um comportamento muito semelhante na distribuição do resíduo em porcentagem ao longo da linha de regressão para os dados do Grupo 2. Devido as questões anteriormente expostas em relação às equações 1 e 4 deu-se preferência a equação 5 como melhor estimadora de altura para o Grupo 2.

Por meio desta análise foi possível avaliar se a estimativa é boa ou não ao longo da linha de regressão e se não houve presença de tendência em nenhum de seus segmentos. Com a ajuda dos gráficos de alturas real e estimada em função da idade também foi possível confirmar os melhores ajustes das equações experimentais.

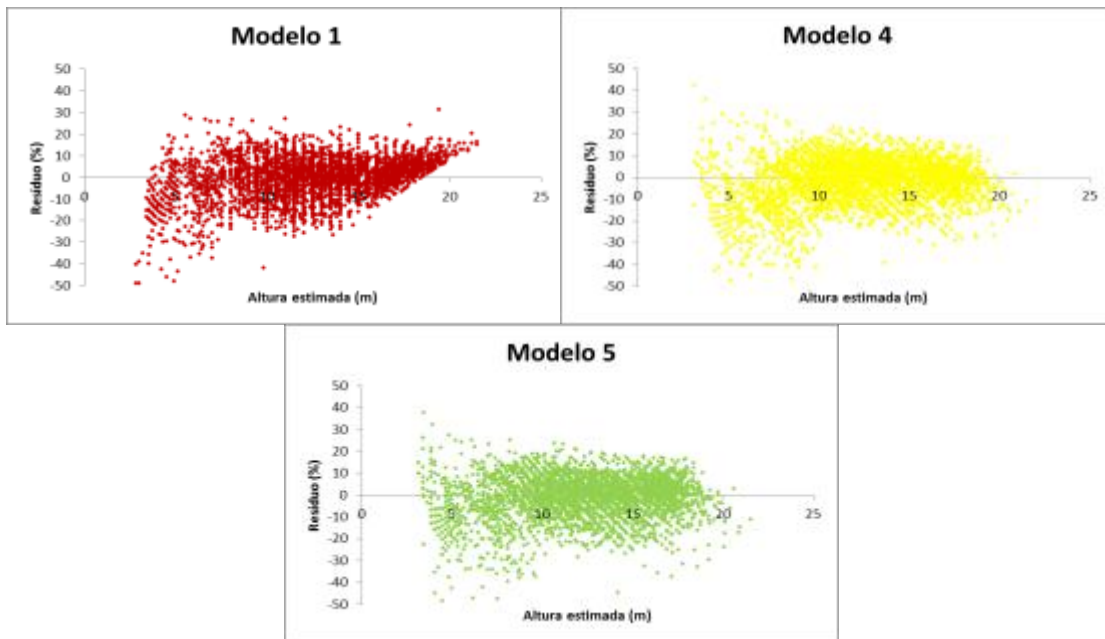


Figura 6. Distribuição dos resíduos (%) em função da altura estimada de *Eucalyptus* spp. das equações 1, 4 e 5 no Grupo 1, na Estação Experimental do IPA, Chapada do Araripe-PE.

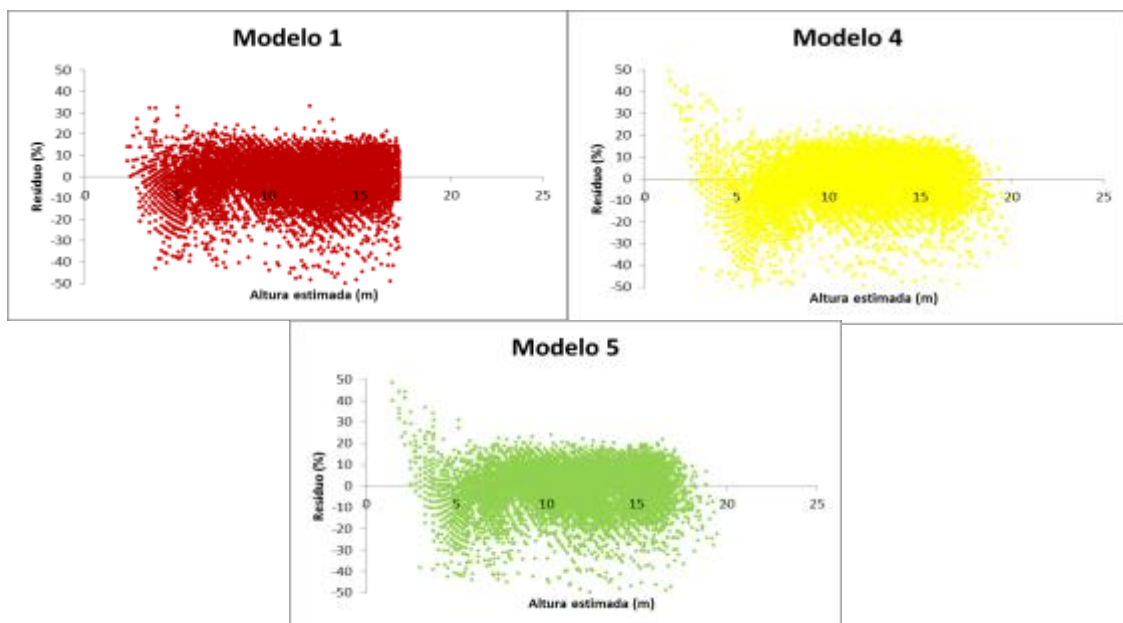


Figura 7. Distribuição dos resíduos (%) em função da altura estimada de *Eucalyptus* spp. das equações 1, 4 e 5 no Grupo 2, na Estação Experimental do IPA, Chapada do Araripe-PE.

4.3 Análise das curvas de crescimento real e estimadas dos modelos testados

O grande número de dados pode tornar difícil a percepção da diferença entre os gráficos de resíduo percentual das equações selecionadas. Uma visualização de equivalente elucidação dos ajustes do dados, porém de estruturação simplificada, pode ser obtida por meio dos gráficos das alturas real e estimada em função da tempo.

Brito (2007) por meio deste recurso conseguiu boa diferenciação entre ajuste da massa de dados aos modelos para estimar crescimento de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.

É possível ainda confirmar os resultados das estatísticas de seleção dos modelos presentes na Tabela 6 por meio dos gráficos de altura em função da CAP. As Figuras 8 e 9 apresentam, respectivamente para os grupos 1 e 2, os dados de altura observada e estimada por cada modelo, em função do CAP ao longo do ciclo do experimento (90 meses).

Os modelos não lineares como um todo apresentaram um ajuste inferior em relação aos lineares, com exceção do modelo de Chapman-Richards (Modelo 12) que é o modelo de grande utilização para modelar o crescimento de árvores e florestas devido a uma grande flexibilidade de ajuste (ZEIDE, 1993).

As equações de Weibull (equações 13, 14 e 15) assim como observado por Batista et al. (2001) e em Moraes Neto et al. (2010) apresenta resultados semelhantes aos de Chapman-Richards, sendo possível observar a discrepância entre esses por meio dos gráficos de altura estimada em função da Idade e de resíduo em porcentagem (Figuras 9 e 11).

Levando em consideração o tamanho da área de plantio do experimento, a ausência de tratamentos silviculturais ao longo de todo o período do levantamento dos dados e o espaçamento entre plantas e fileiras comum em todo o experimento é coerente supor que a interação dos clones com o meio teve o mesmo efeito sobre a correlação genética em todos os tratamentos e, por consequência, com ganho com a seleção (FALCONER e MACKAY, 1996)

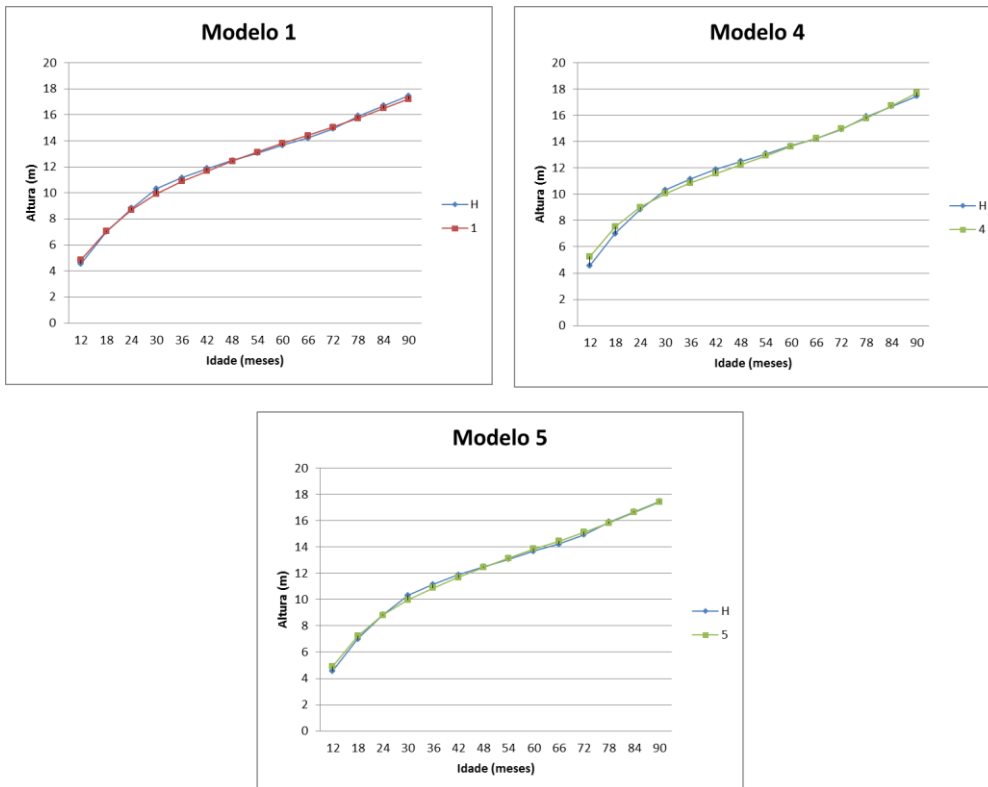


Figura 8. Alturas real e estimada de *Eucalyptus* spp. das equações 1, 4 e 5 em função da idade no Grupo 1, na Estação Experimental do IPA, na Chapada do Araripe-PE.

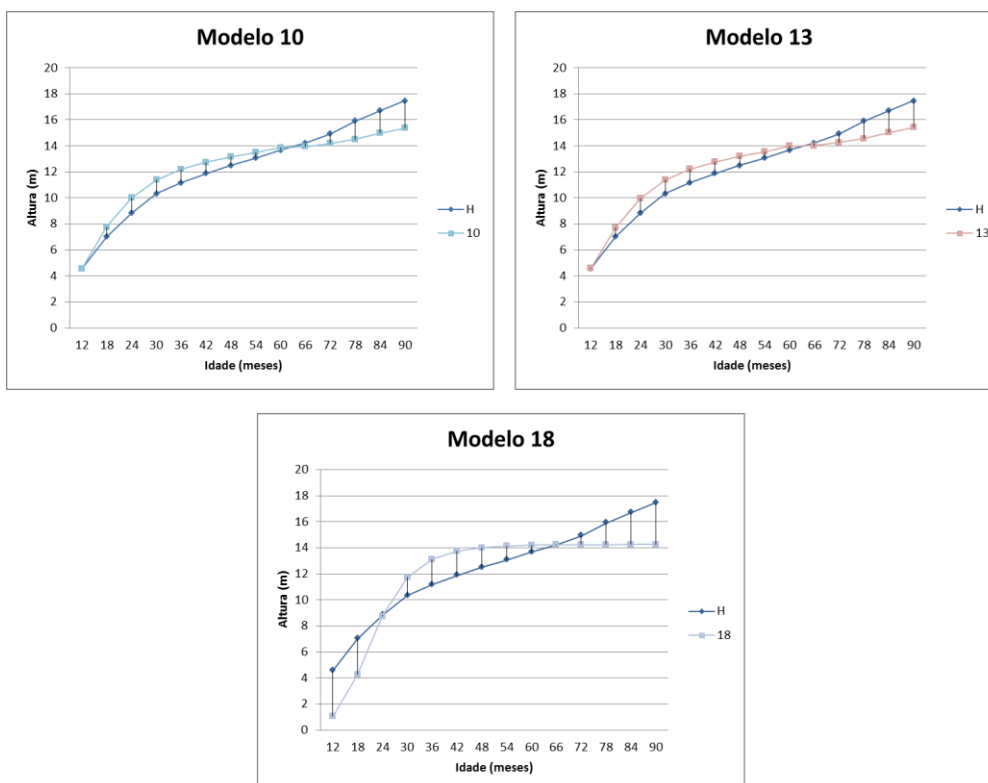


Figura 9. Alturas real e estimada de *Eucalyptus* spp. das equações 10, 13 e 18 em função da idade no Grupo 1, na Estação Experimental do IPA, na Chapada do Araripe-PE.

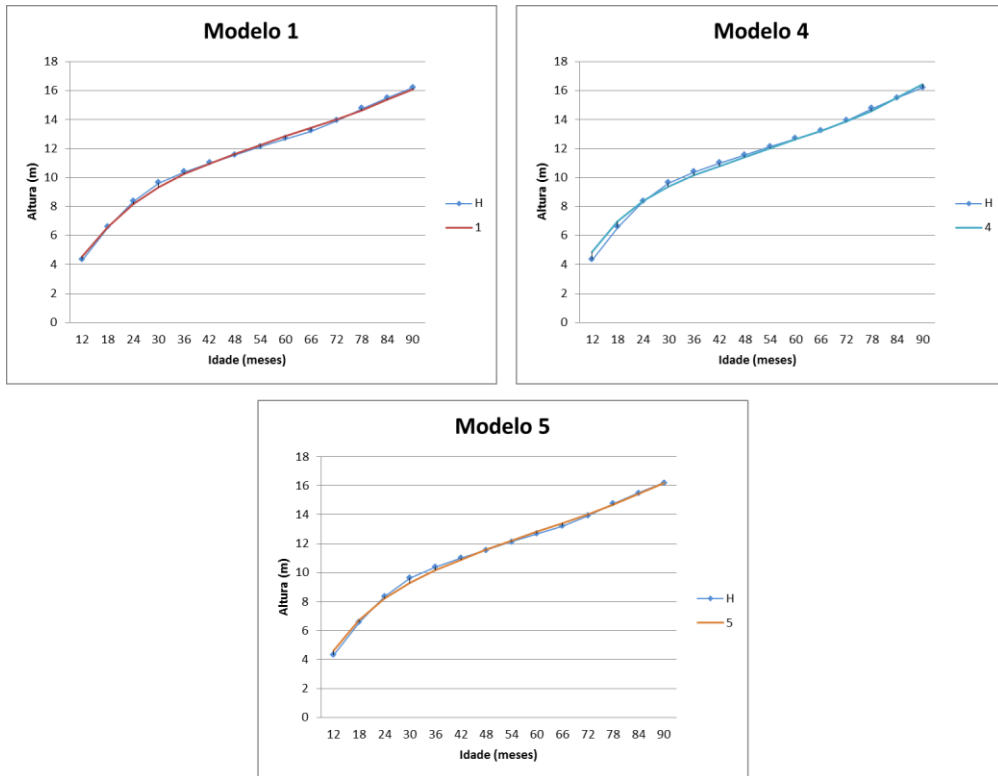


Figura 10. Alturas real e estimada de *Eucalyptus* spp. das equações 1, 4 e 5 no Grupo 2, na Estação Experimental do IPA, na Chapada do Araripe-PE.

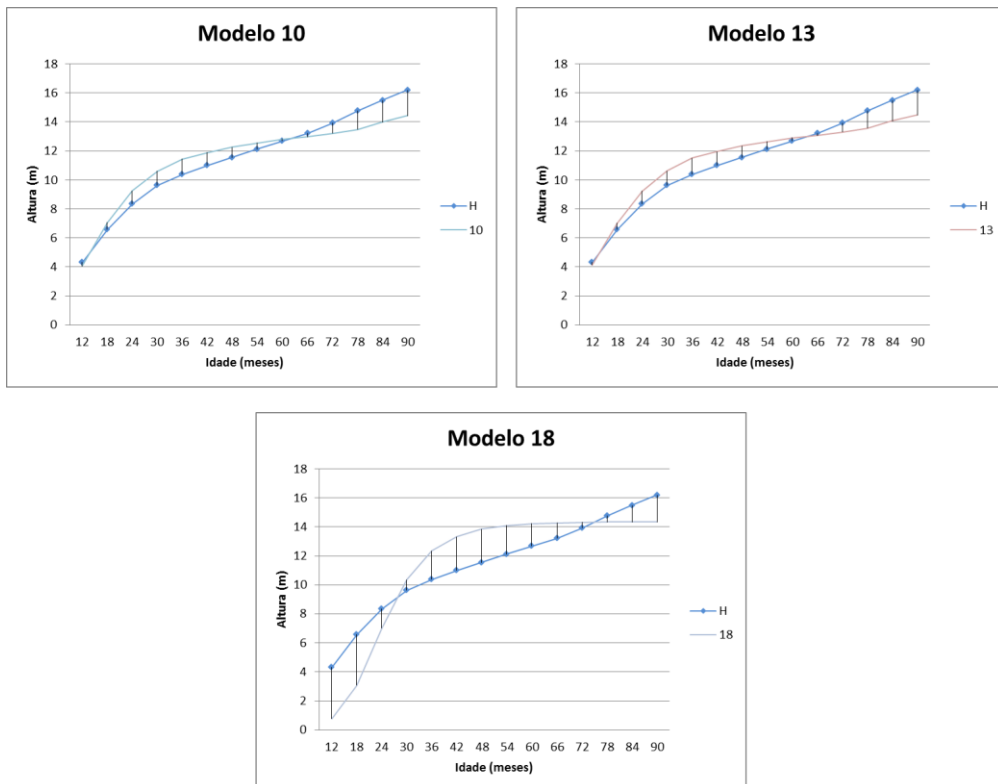


Figura 11. Alturas real e estimada de *Eucalyptus* spp. das equações 10, 13 e 18 no Grupo 2, na Estação Experimental do IPA, na Chapada do Araripe-PE.

5. Conclusões

- A inclusão da CAP e da idade como variáveis independentes produz bons ajustes dos dados pelos modelos hipsométricos propostos observando-se um valor médio no S_{yx} % de 11,14% e R_{aj}^2 % de 86,48% para o Grupo 1, S_{yx} % de 5,68% e R_{aj}^2 % de 84,93% para o Grupo 2;

- Com base nas estatísticas de Coeficiente de Determinação Ajustado (R_{aj}^2), Erro Padrão da Estimativa e análise gráfica do resíduo, pôde-se selecionar entre os modelos hipsométricos testados neste trabalho o modelo Parabólico ($H_i = \beta_0 + \beta_1 CAP_i + \beta_2 CAP_i^2 + \beta_2 l_i + \varepsilon_i$) seguido dos modelos exponencial ($\ln(H_i) = \beta_0 + \beta_1 (1/CAP_i) + \beta_2 l_i + \varepsilon_i$) e semilogarítmico ($H_i = \beta_0 + \beta_1 \ln(CAP_i) + \beta_2 l_i + \varepsilon_i$) são os mais indicados para estimar alturas dos clones de *Eucalyptus* spp. na Estação Experimental do IPA na Chapada do Araripe-PE;

- O modelo 5 ($H_i = \beta_0 + \beta_1 \ln(CAP_i) + \beta_2 l_i + \varepsilon_i$) apresenta significativos resultados aos parâmetros estatísticos utilizados para selecionar equações hipsométricas e apresentou estatísticas desejadas para a distribuição do resíduo ao longo da linha de regressão nos dois grandes grupos resultando na equação $\hat{H}_i = -8,6037 + 4,7438 \ln(CAP_i) + 0,0898 l_i$ ($R_{aj}^2 = 92,35\%$ e $S_{xy} = 8,60\%$) para o Grupo 1 e $\hat{H}_i = -7,4410 + 4,4255 \ln(CAP_i) + 0,0840 l_i$ ($R_{aj}^2 = 90,35\%$ e $S_{xy} = 4,61\%$), para o Grupo 2.

- É coerente supor que o fator genético teve considerável influência sobre a relação altura-diâmetro dos clones de *Eucalyptus* spp. estudados levando a crer que outros parâmetros devem ser pesquisados ao se ajustar os dados aos modelos propostos.

6. Referências Bibliográficas

ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF 2011 ano base 2010**. Brasília, 2011. 140p.

ALENCAR, A. L.; MARANGON, L.C.; FELICIANO, A.L.P.; FERREIRA, R.L.C.; TEIXAIRA, L. de J. Regeneração natural avançada de espécies arbóreas nativas no sub-bosque de povoamentos de *Eucalyptus saligna* Smith., na zona da mata sul de Pernambuco. **Ciência Florestal**, v.21, n.2, p. 183-192, 2011.

ALVES, A. M. C. **Quantificação da produção de biomassa e do teor de carbono fixado por clones de eucalipto, no Pólo Gesseiro do Araripe-PE**. 2007. 62 f. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE.

ANDRADE, E. N. **O eucalipto e suas aplicações**. São Paulo: Typ. Brasil de Rothschild & Cia, 1928.143p.

ANDRADE, V. C. L.; MARTINS, S. V.; CALEGARIO, N.; CHICHORRO, J. F. Influência de três sistemas de amostragem na estimativa da relação hipsométrica e do volume de árvores em um fragmento de Mata Atlântica. **Scientia Forestalis**, n.70, p.31-37, 2006.

ANGELI, A. Indicações para escolha de espécies de *Eucalyptus*. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais – IPEF, 2005. Disponível em <<http://www.ipef.br/identificacao/eucalyptus/indicacoes.asp>> Acesso em:17 nov. 2011.

ARACRUZ. O eucalipto. disponível em: <<http://www.aracruz.com.br/eucalipto/>> acesso em 18 jan. 2010.

ARANDA, U. D.; ANTA, M. B.; DORADO, F. C.; GONZÁLEZ, A. D. R.; TABOADA, M. F. A.; GONZÁLEZ, J. G. A.; ALBORECA, A. R. **Dendrometría**. Madrid: Mundi Prensa. 2003.

ARAÚJO, S. M. S. **O Pólo Gesseiro do Araripe: Unidades Geo-ambientais e Impactos da Mineração**. 2004, 276 f. Tese (Doutorado em Administração e Política de Recursos Minerais) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto

de Geociências, Campinas, SP.

ASSIS, T. F.; BAUER, J. F. S.; TAFAREL, G. Sintetização de híbridos de *Eucalyptus* por cruzamentos controlados. **Ciência Florestal**, v. 3, n. 1, p. 161-170, 1993.

ATECEL – Associação Técnica Científica Ernesto Luiz de Oliveira. **Diagnóstico energético do setor industrial do pólo gesseiro da meso região de Araripina-PE**. Campina Grande, 2006, 126p.

AZEVEDO, T. L.; MELLO, A. A.; FERREIRA, R. A.; SANQUETA, C. R.; NAKAJIMA, N. Y. Equações hipsométricas e volumétricas para povoamento de *Eucalyptus* sp. localizado na FLONA do Ibura, Sergipe. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 1, p. 105 – 112, 2011.

BARROS, D. A. de; MACHADO, S. A.; ACERBI JUNIOR, F. W.; SCOLFORO, J. R. S. Comportamento de modelos hipsométricos tradicionais e genéricos para plantações de *Pinus oocarpa* em diferentes tratamentos. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n.45, p. 3-28, jul.-dez. 2002.

BARTOSZECK, A. C. P. S.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; OLIVEIRA, E. B. Modelagem da relação hipsométrica para bracatingais da região metropolitana de Curitiba, Paraná. **Floresta**, v. 32, n. 2, p. 189-204, 2002.

BARTOSZECK, A. C. P. S.; MACHADO, S. do A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; OLIVEIRA, E. B. Dinâmica da relação hipsométrica em função da idade, do sítio e da densidade inicial de povoamentos de bracatinga da região metropolitana de Curitiba, Paraná. **Revista Árvore**, v. 28, n. 4, p. 517-533, 2004.

BATISTA, J. L. F.; COUTO, H. T. Z. do; MARQUESINI, M. Desempenho de modelos de relação hipsométrica: estudo em três tipos de florestas. **Scientia Forestalis**, n. 60, p. 149-163, 2001.

BRITO, C. R. de; SILVA, J. A. A. da; FERREIRA, R. L. C.; SANTOS, E. de S.; FERRAZ, I. Modelos de crescimento resultantes da combinação e variações

dos modelos de Chapman-Richards e Silva-Bailey aplicados em *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. **Ciência Florestal**, v.17, n. 2, p. 175-185, 2007.

CAMPELLO, F. C. B. **Análise do consumo específico de lenha nas indústrias gesseiras: a questão florestal e sua contribuição para o desenvolvimento sustentável da Região do Araripe – PE**. 2011. 66 f. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE.

CAMPOS, J. C. C. Principais fatores do meio que afetam o crescimento das árvores. **Floresta**. P. 45 – 52, 2006. Disponível em: <http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/floresta/article/view/5684/4126>. Acesso em 14 Fev. 2011.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 2.ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 407p.

CHANDLER, D.; HENSON, R. Brazilian experiences in the production of Eucalyptus for energy, Brasília: Winrock International, 1998. 148p.

CHARNET, R, FREIRE, C. A.; CHARNET E. M. R.; BONVINO H. **Análise de modelos de regressão linear com aplicações**. 2. ed. Campinas: Unicamp, 2008, 356p.

COPERGÁS, **Gás chega ao Araripe**. Disponível em: www.copergas.com.br/index.php/2011/04/gas-chega-ao-araripe/. Acesso em: 14 abr. 2011.

COUTINHO, J. L. B.; SANTOS, V. F.; FERREIRA, R. L. C.; NASCIMENTO, J. C. B. Avaliação do comportamento de espécies de *Eucalyptus* spp. na Zona da Mata pernambucana. I. Resultados do primeiro ano – 2001. **Revista Árvore**, v.28, n.6, p.771-775, 2004.

COUTO, H. T. Z; BASTOS, N. L. M, Erros de medição de altura em povoamentos de *Eucalyptus* em região plana. **IPEF**, n.39, p.21-31, 1988.

CRECHI, E. H. **Efeitos da densidade da plantação sobre a produção, crescimento e sobrevivência de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em**

Misiones, Argentina. 1996. 172 f. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

CURTIS, R. Height-diameter and height-diameter-age equations for second-growth Douglas-fir. **Forest science**, Amsterdam, v. 13, n. 4, p. 365-375, 1967.

DNPM - DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Anuário Mineral Brasileiro**. Brasília: DNPM, v.30, 2011.

DONADONI, A. X.; PELISSARI, A. L.; DRESCHER, R.; ROSA, G. D. Relação hipsométrica para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus tecunumanii* em povoamento homogêneo no Estado de Rondônia. **Ciência Rural**, v.40, n.12, p. 2499-2504, 2010.

DRAPER, N. M.; SMITH, H. **Applied Regression Analysis**. 2.ed., New York, Wiley. 1981, 709p.

DRUMOND, M. A.; LIMA, P. C. F.; SANTOS, R. A. V. Comportamento de algumas espécies/procedências de *Eucalyptus* no município de Lagoa Grande-PE. **Brasil Florestal**, n. 78, p. 75-80, 2003.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. 4. ed. Longman: Malaysia, 1996. 464 p.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Universidade de Santa Maria, Santa Maria. 2006. 269p.

FREITAS, L. J. M. de; SOUZA, A. L. de; LEITE, H. G.; SILVA, M. L. da. Análise técnica e estimativas de custos de inventário de prospecção em uma floresta estacional semidecidual submontana. **Revista Árvore**, v.29, n.1, p. 65-75, 2005.

FUPEF - Apoio técnico e institucional para o desenvolvimento do programa florestal da Chapada do Araripe: Produto 2 – Diagnóstico, Curitiba, 2007, 203p.

GADELHA, F. H. L, **Rendimento volumétrico e energético de clones de híbridos de *Eucalyptus urophylla* (Cruzamento Natural) e *Eucalyptus***

brassiana (Cruzamento Natural) na Chapada do Araripe – PE. 2010, 65 f. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE.

GUIMARÃES, M. A. M.; CALEGÁRIO, N.; CARVALHO, L. M. T. de; TRUGILHO, P. F. Height-diameter models in forestry with inclusion of covariates. **Cerne**, v. 15, n. 3, p. 313-321, 2009.

HORLE D. C., MENDONÇA A. R. de; CARVALHO S. P. C.; CALEGARIO N. Modelagem não linear do perfil longitudinal de fustes de *Pinus oocarpa*. **Cerne**, v. 16, n. 2, p. 177-184, 2010.

JORGE, D. L.; SILVA, J. A. A.; GADELHA, F. H. L.; FERREIRA, R. L. C. Análise e comparação de modelos de relação hipsométrica para clones de *Eucalytus* sp. cultivados na Região do Pólo Gesseiro do Araripe. In: IX Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão da Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2009, Recife. Disponível em: <<http://www.eventosufrpe.com.br/jepex2009/cd/resumos/R1170-1.pdf>>.

Acesso em: 15 out. 2011.

KARKACH, A. S. Trajectories and models of individual growth. **Demographic Research**, v.15, n.12, p. 347-400, 2006.

KOEHLER, A. B. **Modelagem biométrica e morfometria em povoamentos jovens de *Araucaria angustifolia* (Bert.) Ktze., em Tijuca do Sul, Estado do Paraná.** 2009, 204f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal).Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

LESLIE, A. D.; MENCUCCINI, M.; PERKS, M. The potential for *Eucalyptus* as a wood fuel in the UK. **Applied Energy**, v.89, p.176-182, 2012.

MACHADO, S. A.; BAILEY, R. L.; BASSO, S. F.; BEVILACQUA JÚNIOR, V. G. Análise do comportamento da relação hipsométrica com respeito a idade para plantação de *Pinnus ellioti* no Estado do Paraná. **Cerne**, v.1, n.1, p. 05-12, 1994.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. Curitiba: 2003, 309p.

MORA, A. L.; GARCIA, C. H. A Cultura do Eucalipto no Brasil. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000.

MORAES NETO, S. P.; PULROLNIK, K.; VILELA, L.; MUNHOZ, D. J. M.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; MARCHÃO, R. L. Modelos hipsométricos para *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em sistema agrossilvipastoril. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento**, 286. EMBRAPA-Cerrados, 33p. 2010.

MOURA, V. P. G. **Germoplasma do *Eucalyptus urophyllas* S.T. Blake no Brasil**. 2004. 12p. (EMBRAPA. Comunicado Técnico 111).

MOURA, V. P. G. **O germoplasma de *Eucalyptus brassiana* S.T. Blake no Brasil**. EMBRAPA: 2003. 8p. (EMBRAPA. Comunicado Técnico 103).

OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; ALMEIDA, W.; PEREIRA, B. L. C.; CARDOSO, M. T. Parâmetros de Qualidade da Madeira e do Carvão Vegetal de *Eucalyptus Pellita* F. Muell. **Scientia Forestalis**, v. 38, n. 87, p. 431-439, 2010.

OLIVER, J. M. M. **El eucalipto**. Mundi-prensa: 1995, 125p.

PENG, C.; WEN, X. Recent applications of artificial neural networks in forest resource management: an overview. In: Corté, U.; Sánchez - Marrè, M., eds. Environmental Decision Support Systems and Artificial Intelligence. Menlo Park, AAAI Press, 1999. p.15-22.

RATKOWSKY, D. **A Nonlinear regression modeling**. New York: Marcel Dekker, 1983. 276p.

RIBEIRO, A.; FERRAZ FILHO, A. C.; MELLO, J. M.; FERREIRA, M. Z.; LISBOA, M. P. M.; SCOLFORO, J. R. S. Estratégias e metodologias de ajuste de modelos hipsométricos em plantios de *Eucalyotus* sp. **Cerne**, v.16, n.1, p. 22-31, 2010.

RIEGELHAUPT, E. M.; PAREYN, F. G. C. A questão energética e o manejo florestal da Caatinga. In: GARIGLIO, M.A.; SAMPAIO, E.V.S.B.; CESTARO, L.A.; KAGEYAMA, P.Y. **Uso Sustentável e Conservação dos Recursos Florestais da Caatinga**. Serviço Florestal Brasileiro. Brasília. 2010. p. 65-75.

RIZZINI, C. T. **Árvores e madeiras úteis do Brasil: manual de dendrologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Brucher, 1981. 294p.

RODRIGUES, A. F. R.; FERRAZ, C. P. DNPM, 2009. Economia Mineral do Brasil. **Departamento Nacional de Produção Mineral** – Brasília-DF: DNPM, 2009, 764p.

SANTOS, W. C. **Análise de características dendrométricas e fatores edáficos no crescimento e produção de um povoamento de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze**. 2006. 84 f. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P.; SOUZA, C. A. M. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**. 2. ed. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2009. 294 p.

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

SCOLFORO, J. R.; OLIVEIRA, A.D.; DAVIDE, A.C.; CAMOLESI, J.F. Manejo sustentado das candeias *Eremanthus erythropappus* (DC.) McLeisch e *Eremanthus incanus* (Less.) Less. Lavras: Departamento de Ciências Florestais. 2004. 18p.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, v. 30, n. 3, p. 507-512, 1974.

SILVA, H. D.; FERREIRA, D. F.; PACHECO, C. A. P. Avaliação de quatro alternativas de análise de experimentos em látice quadrado, quanto à estimação de componentes de variância. **Bragantia**, v. 59, n.1, p. 117-123, 2000.

SILVA, I. P.; SILVA, J. A. A. **Métodos estatísticos aplicados à pesquisa**

científica: uma abordagem para profissionais da pesquisa agropecuária.

Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1999. 309p.

SILVA, J. A. A. da.; BAILEY, R. L.; MEUNIER, I. M. J. Método das quatro árvores para estimativas volumétricas em plantios florestais. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 8/9, p. 64-91, 1984.

SILVA, J. A. A. Potencialidades de florestas energéticas de *Eucalyptus* no Pólo Gesseiro do Araripe-Pernambuco. Recife, Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica, Recife, v. 5 e 6, p.301-319, 2008-2009.

SINDUSGESSO - disponível em <www.sindusgesso.org.br> Acesso em: 08 mar. 2011.

SMITH, E. B. S. **Determinação da rotação econômica para *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex Maiden) destinados à produção de carvão vegetal.** 1989. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SOARES, C. P. B.; MARTINS, F. B.; LEITE JÚNIOR, H. U.; SILVA, G. F.; FIGUEIREDO, L. T. M. Equações hipsométricas, volumétricas e de *taper* para onze espécies nativas. **Revista Árvore**, v.35, n.5, p.1039-1051, 2011.

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F. de; SOUZA, A. L. **Dendrometria e inventário florestal.** Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2006. 276p.

SOARES, D. G.; PAREYN, F. G.; MEUNIER, I. M. J.; CABRAL, E.; NOGUEIRA, B. Rendimento de dois tipos de fornos de carvoejamento no sertão pernambucano: estudo de caso. Brasília, DF, 2006. 12p.

THIERSCH, C. R.; SCOLFORO, J. R.; OLIVEIRA, A. D.; MAESTRI, R.; DEHON, G. Acurácia dos métodos para estimativa do volume comercial de clones de *Eucalyptus* sp. **Revista Cerne**, v.12, n. 2, p.167-181, 2006.

THOMAS, C.; MARTINS, C. A.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; COSTA, A. F.; VALE, A. T. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. **Ciência Florestal**, v.16, n.3,

p.319-327, 2006.

TOMÉ, M.; RIBEIRO, F.; FAIA, S. Relação Hipsométrica geral para *Eucalyptus globulus* Labill. em Portugal. **Silva Lusitana**, v.15, n.1, p. 41-55, 2007.

TRIGUEIRO, E. R. C. **Vulnerabilidade aos processos de degradação/desertificação no município de Tauá-CE. Estudo de caso: Escola Agrícola de Tauá.** 2003. 126f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE.

ZEIDE, B. Analysis of growth equations. **Forest Science**, v. 39, n. 3, p. 594-616, 1993.

ZICCARDI, A. **Pobreza, desigualdad social y ciudadanía: los limites de lãs políticas sociales em America Latina.** Buenos Aires: Clasco, 2001.

APÊNDICE

APÊNDICE A

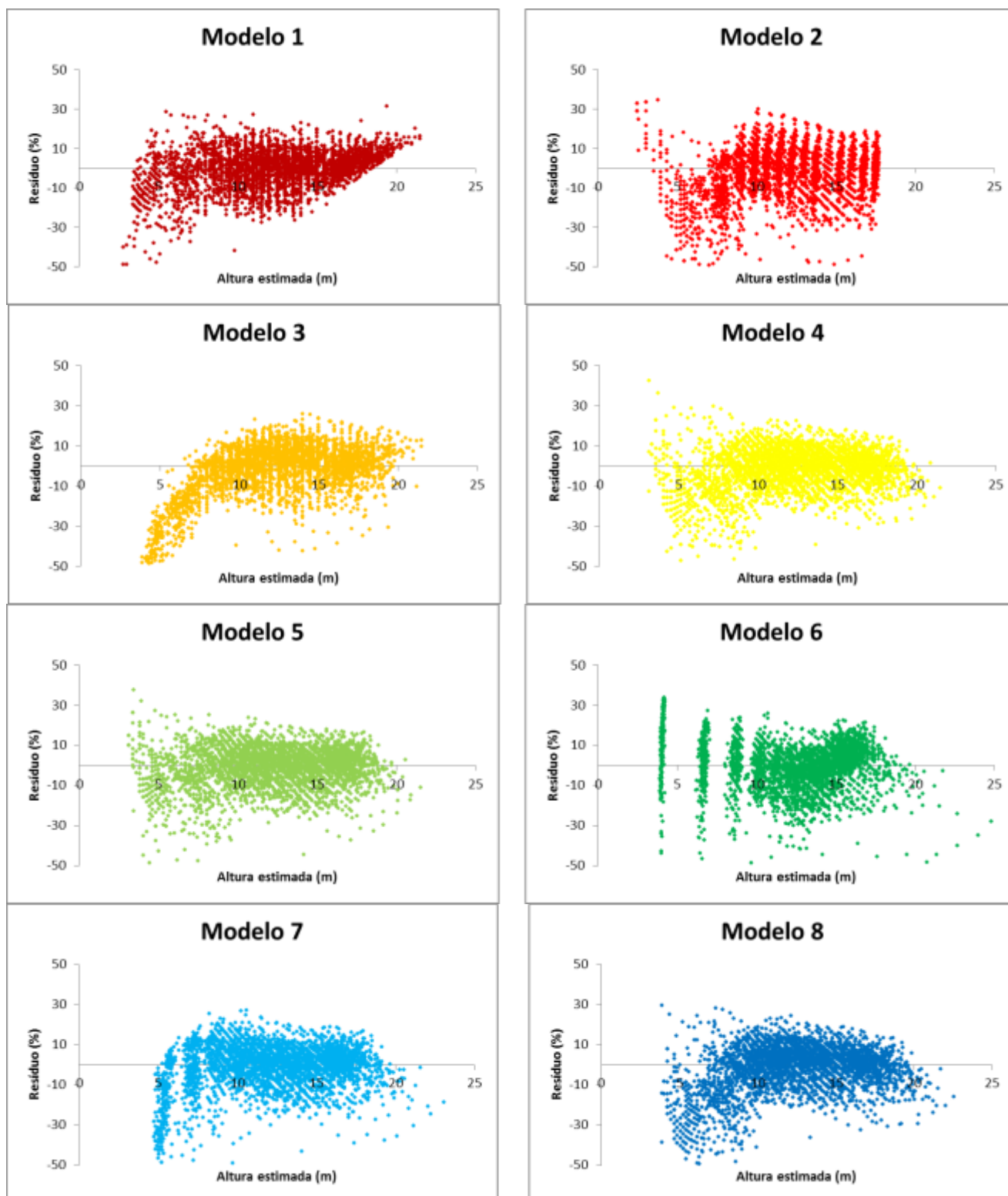


Figura 1A. Resíduo em porcentagem em função da altura estimada das equações ajustadas aos dados do Grupo 1 de *Eucalyptus* spp., na Estação Experimental do IPA, localizada na Chapado do Araripe, Araripina-PE.

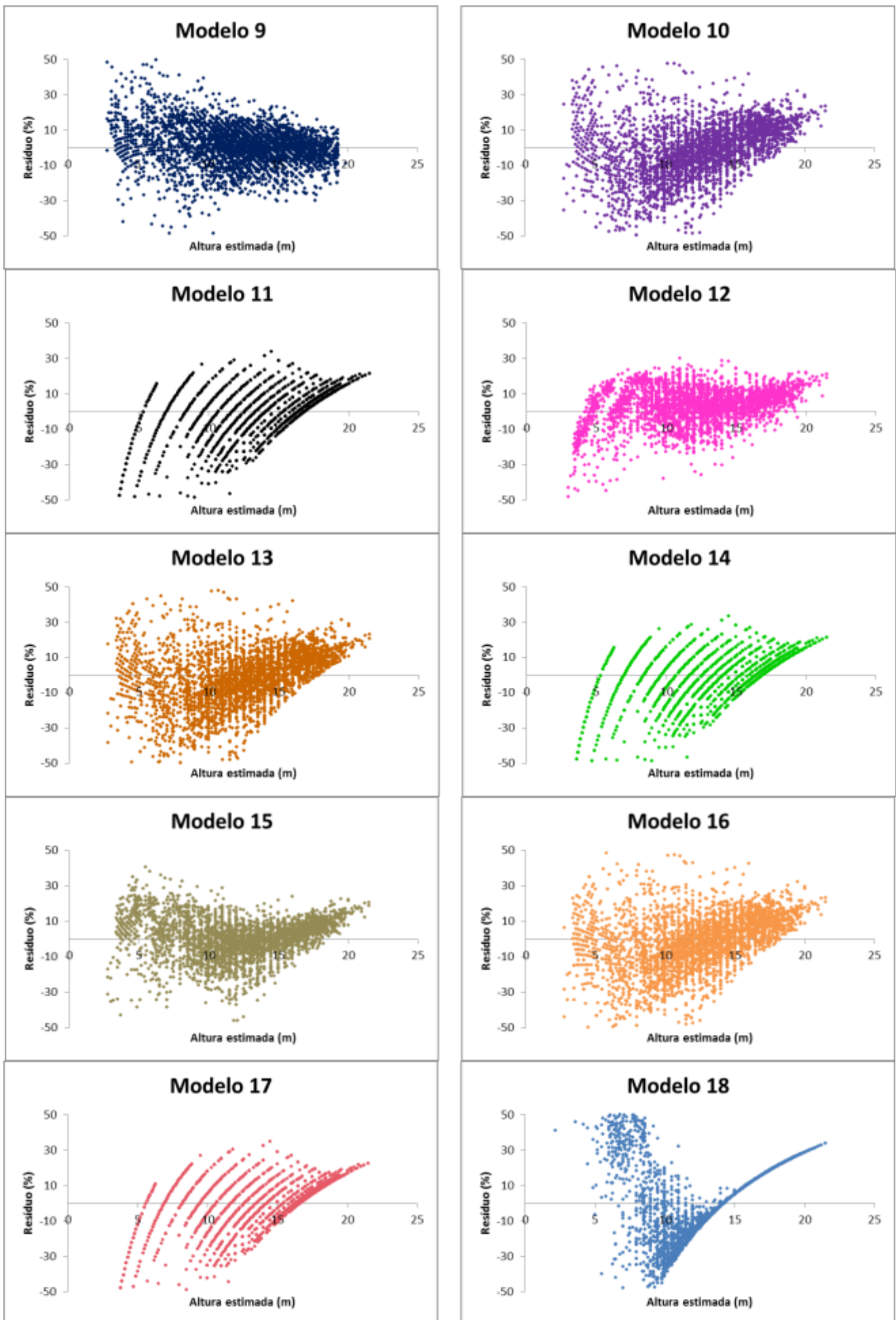


Figura 1A. Continuação

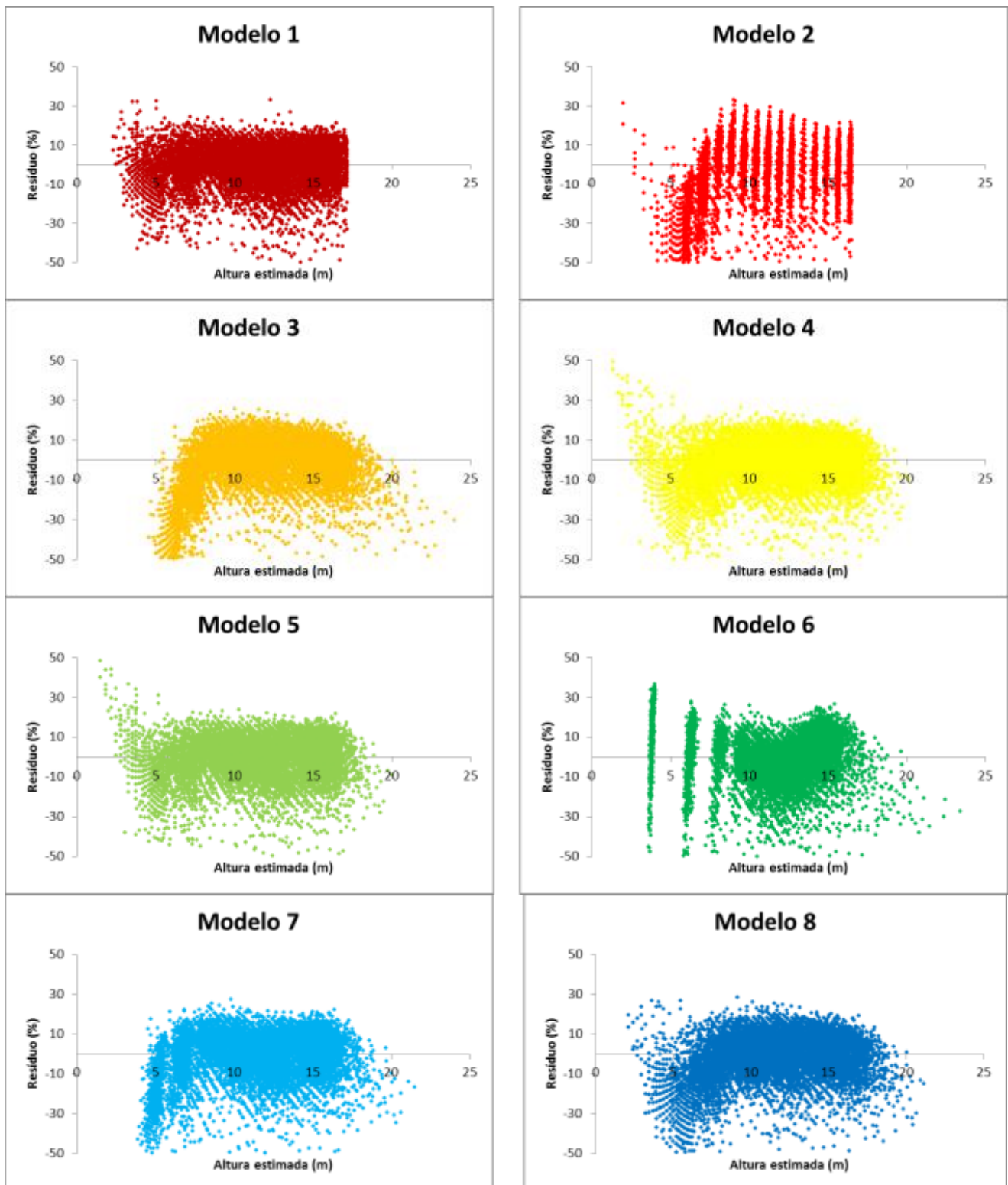


Figura 2A. Resíduos em porcentagem em função da altura estimada da equações ajustadas aos dados do Grupo 2 de *Eucalyptus* spp. na Estação Experimental do IPA, localizada na Chapado do Araripe, Araripina-PE.

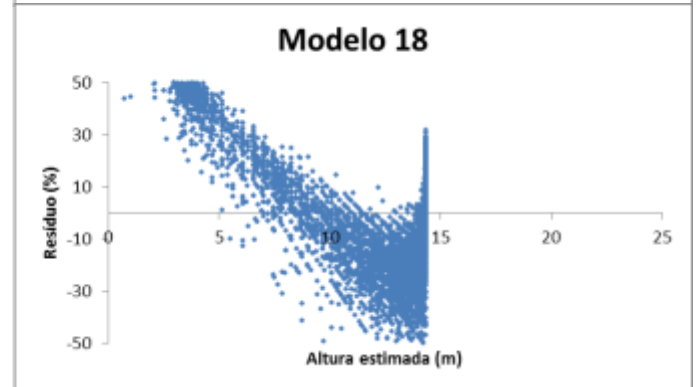
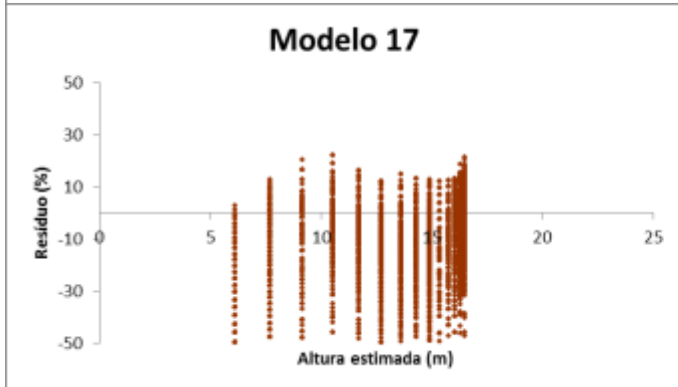
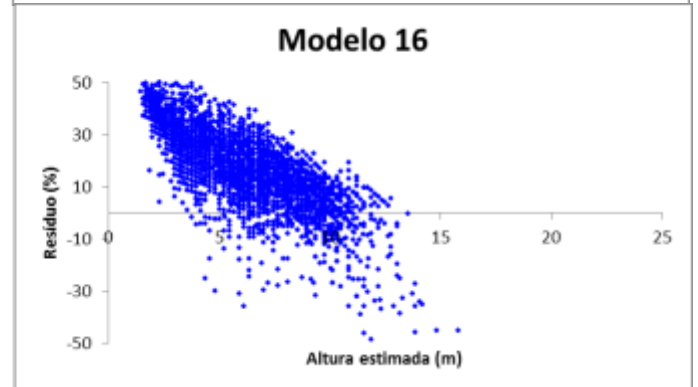
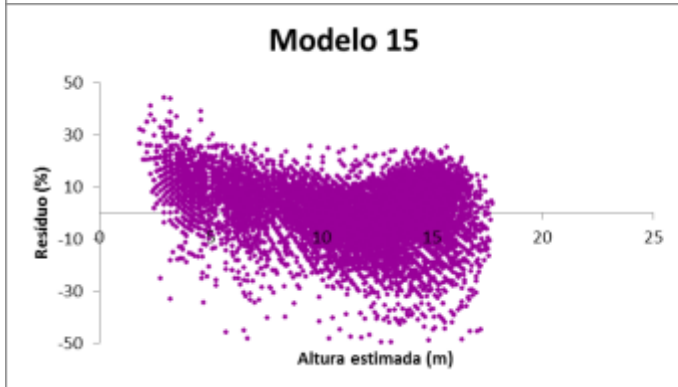
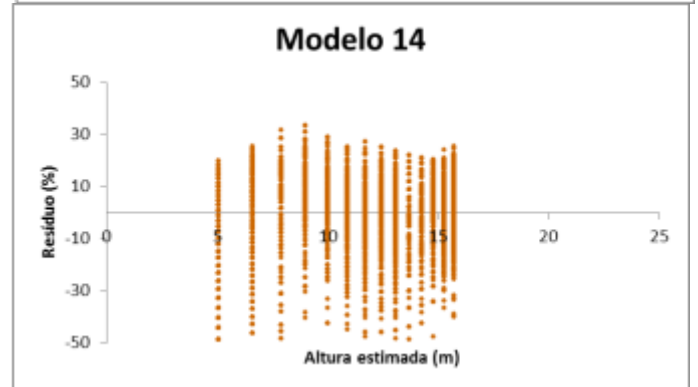
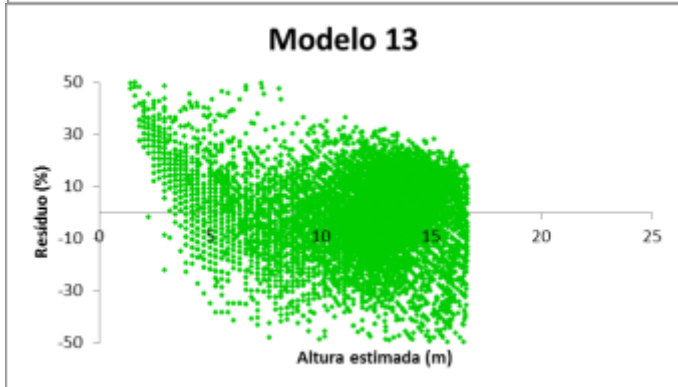
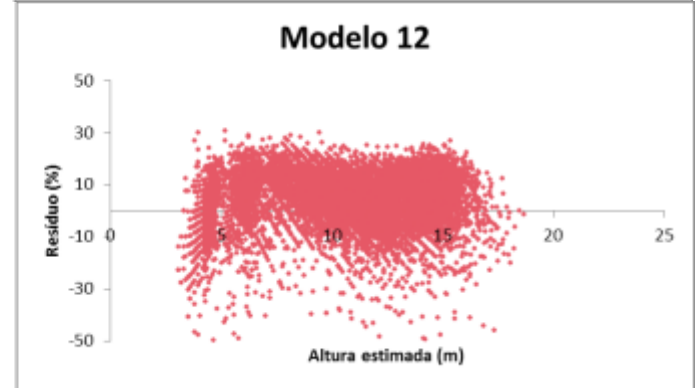
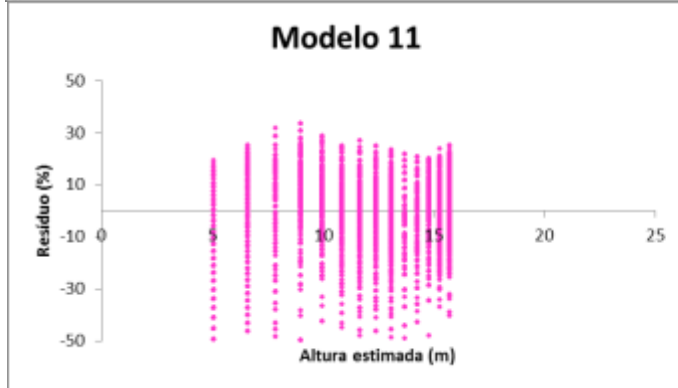
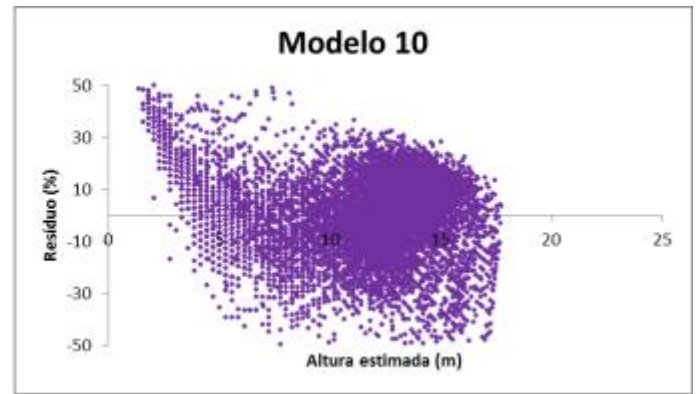
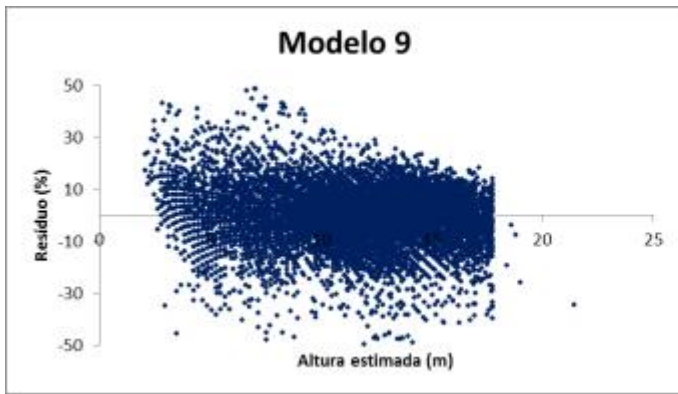


Figura 2A. Continuação

APÊNDICE B

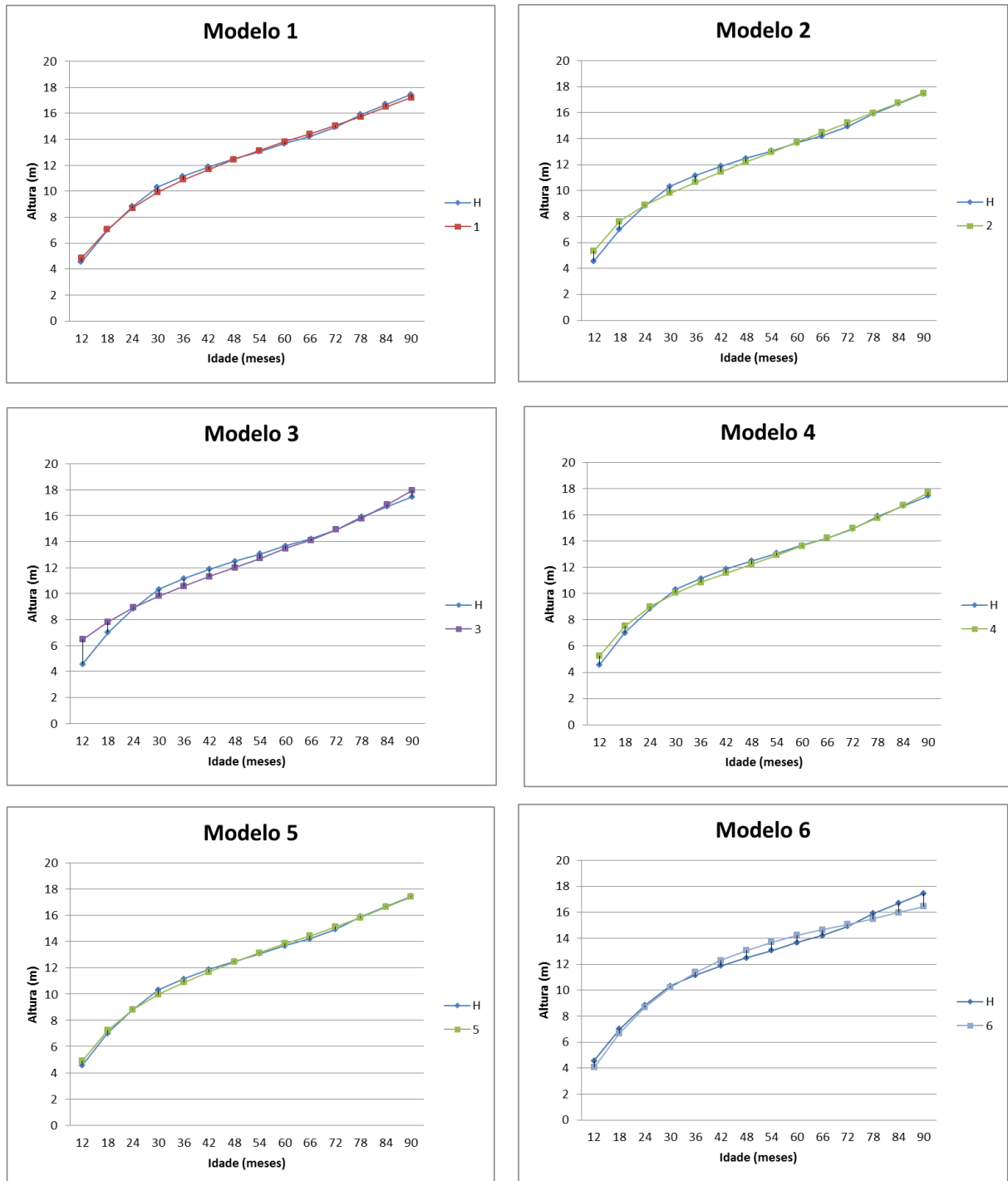


Figura 1B. Crescimento das alturas real e estimada de *Eucalyptus* spp. das equações propostas no Grupo 1, na Estação Experimental do IPA, na Chapada do Araripe-PE.

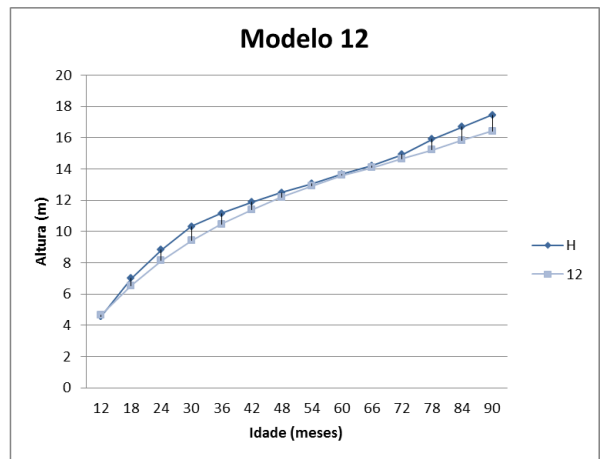
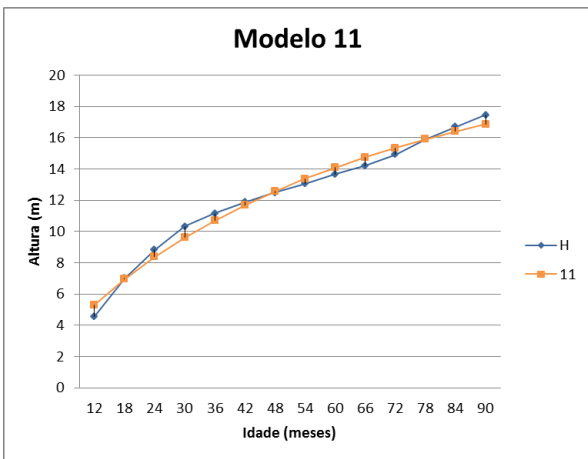
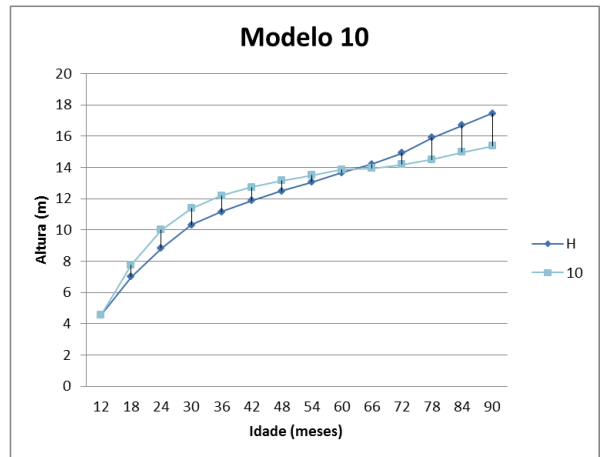
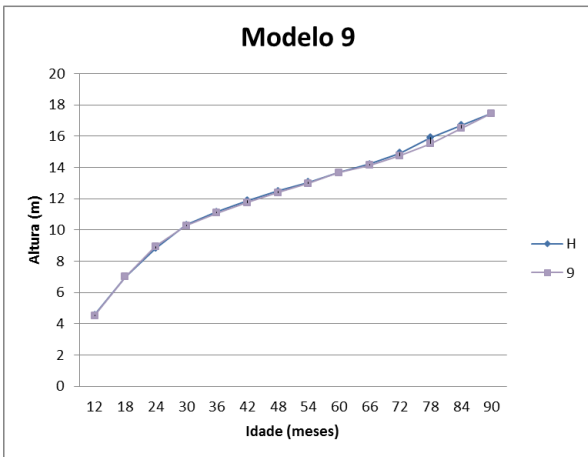
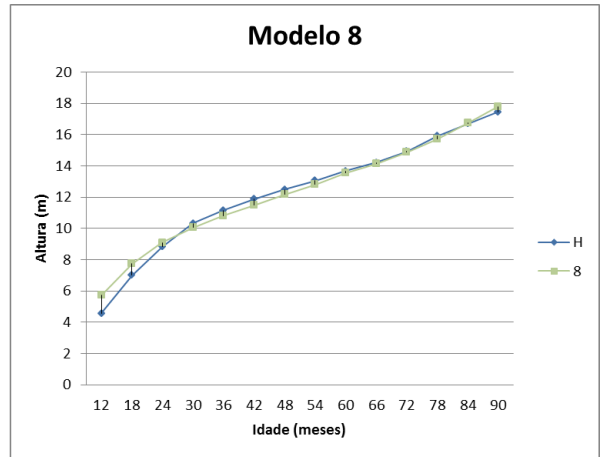
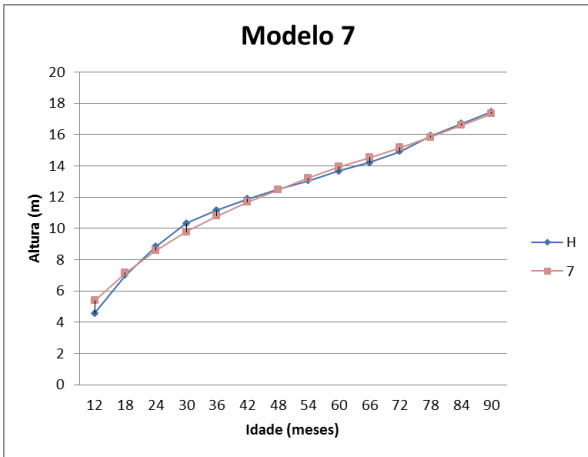


Figura 1B. Continuação

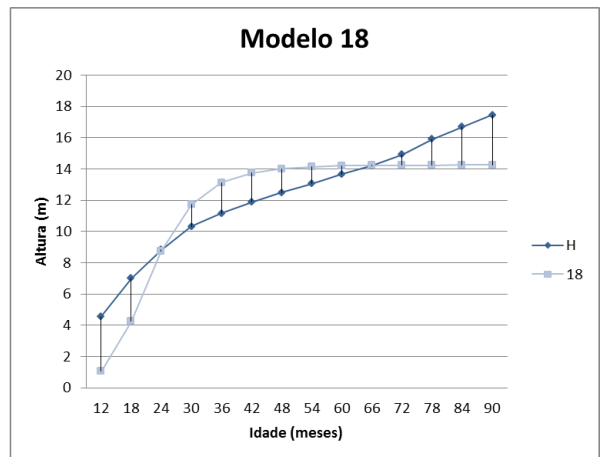
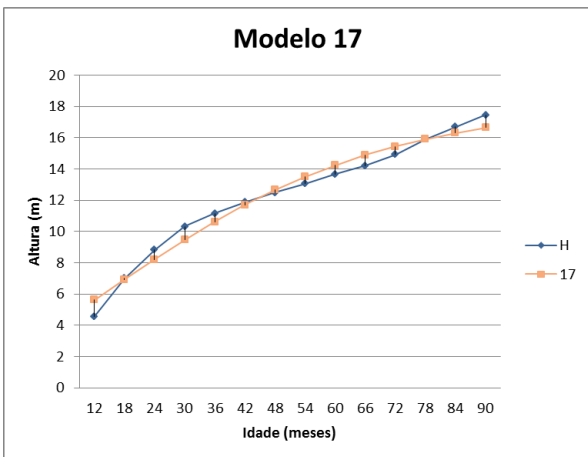
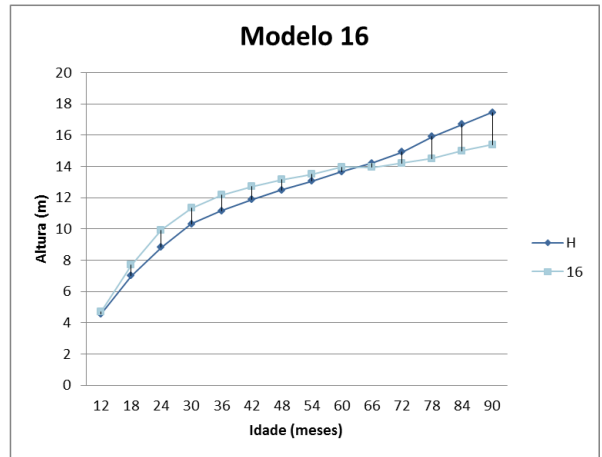
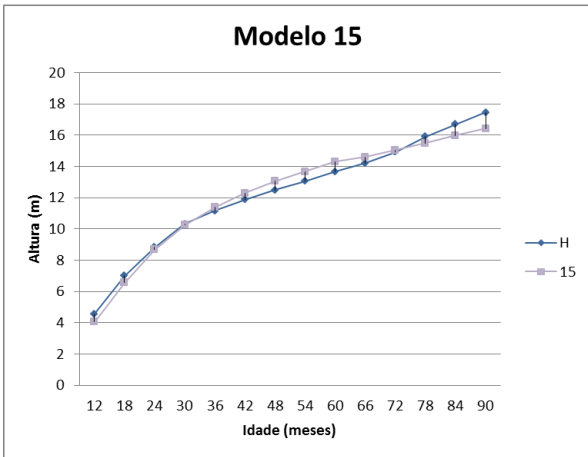
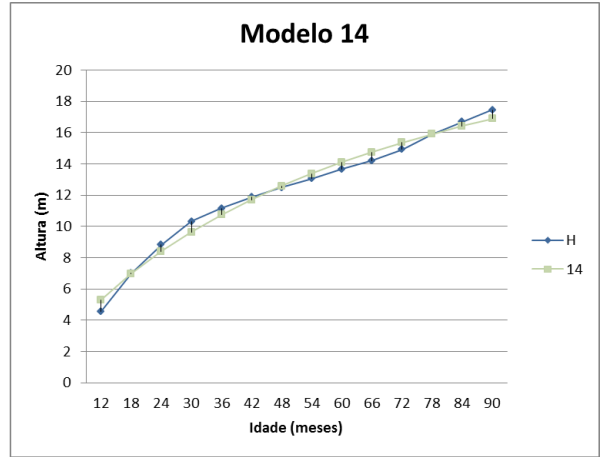
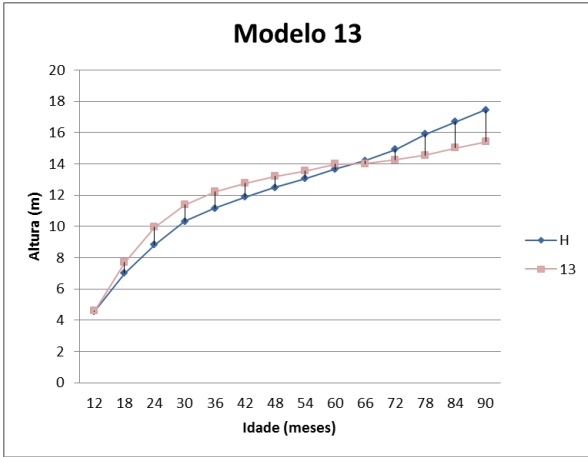


Figura 1B. Continuação

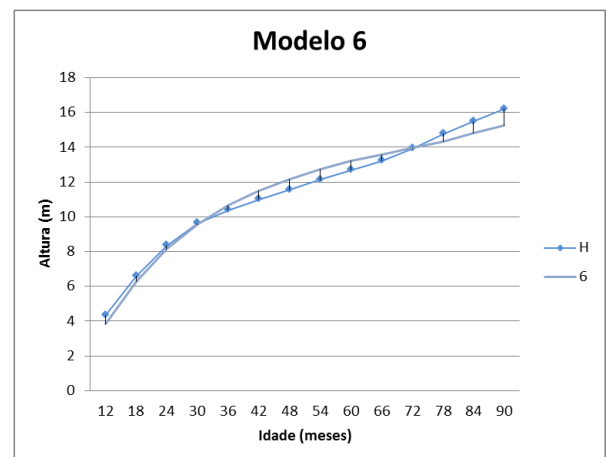
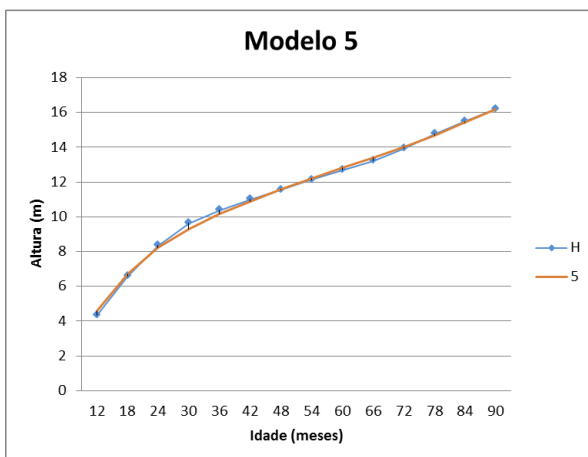
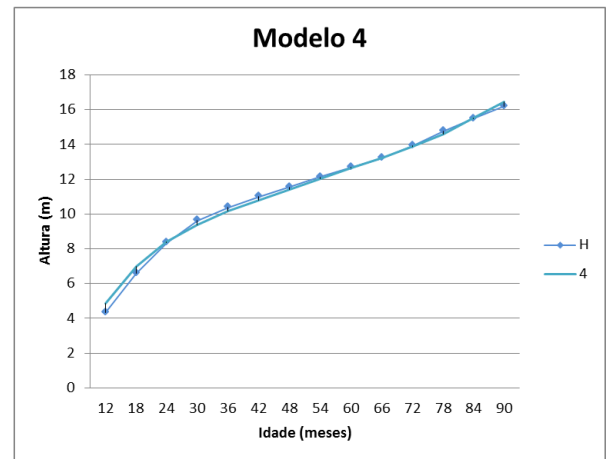
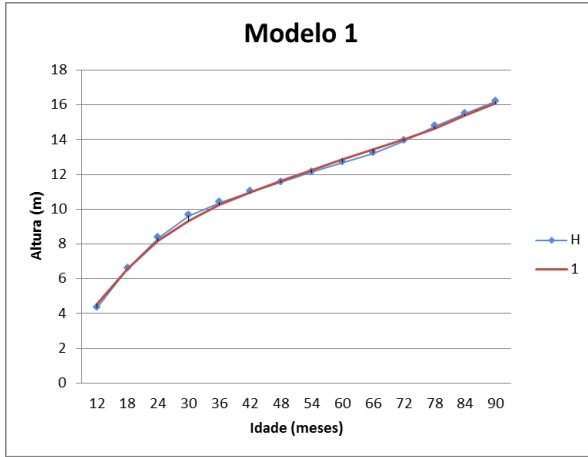


Figura 2B. Crescimento das alturas real e estimada de *Eucalyptus* spp. das equações propostas no Grupo 2, na Estação Experimental do IPA, na Chapada do Araripe-PE.

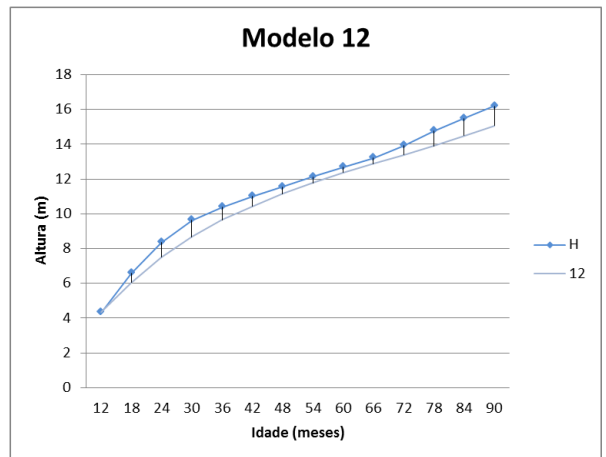
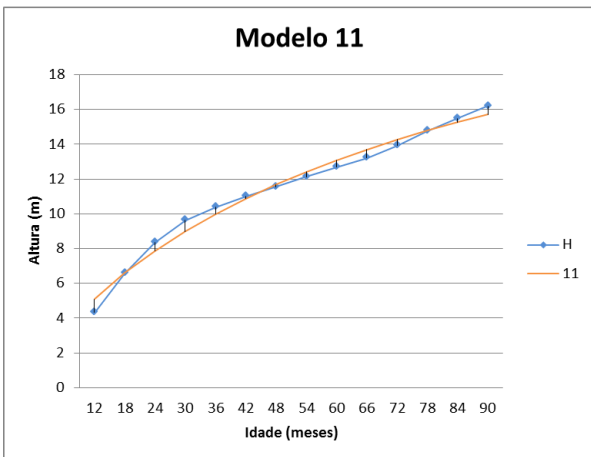
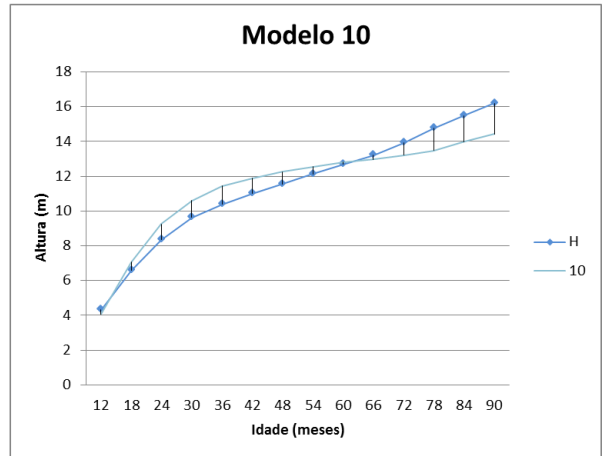
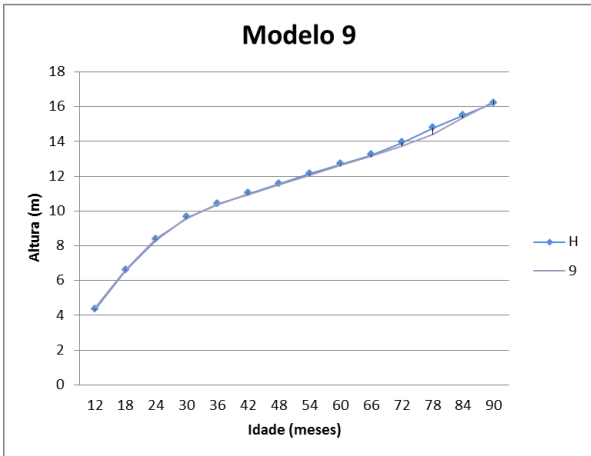
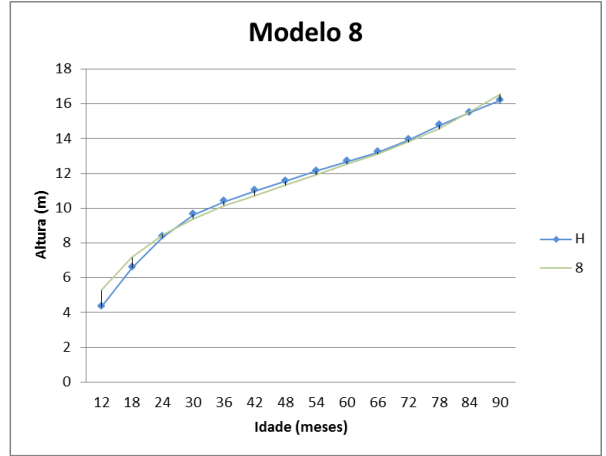
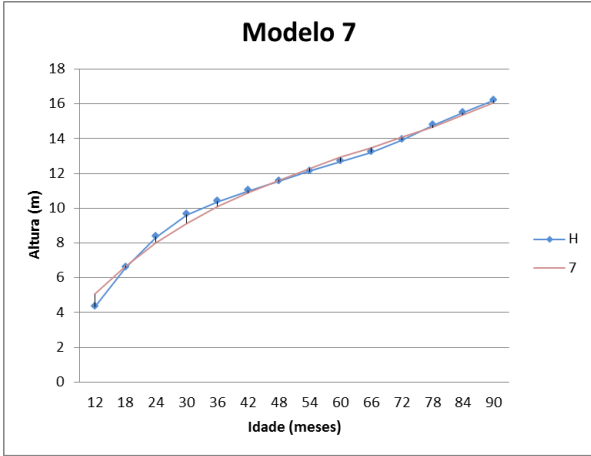


Figura 2B. Continuação

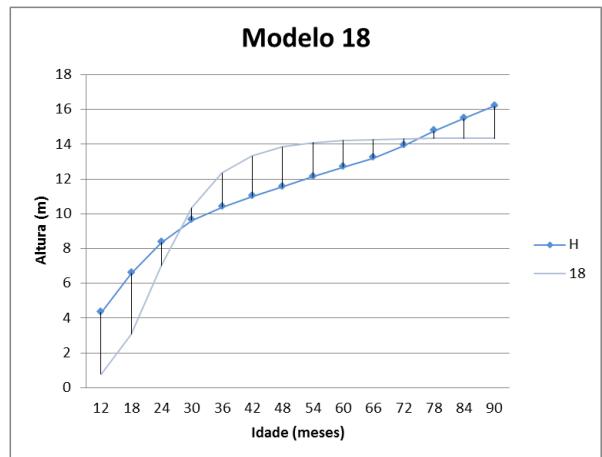
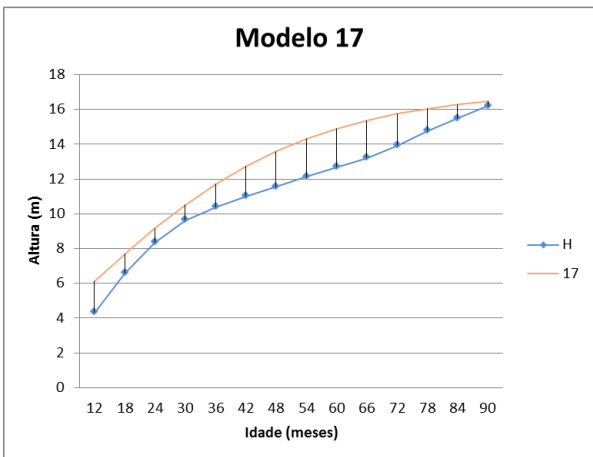
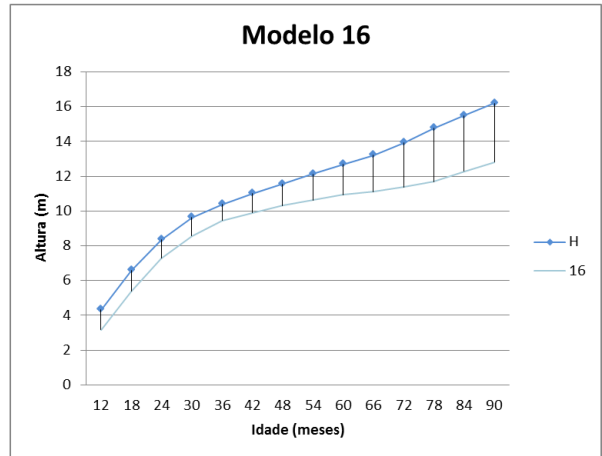
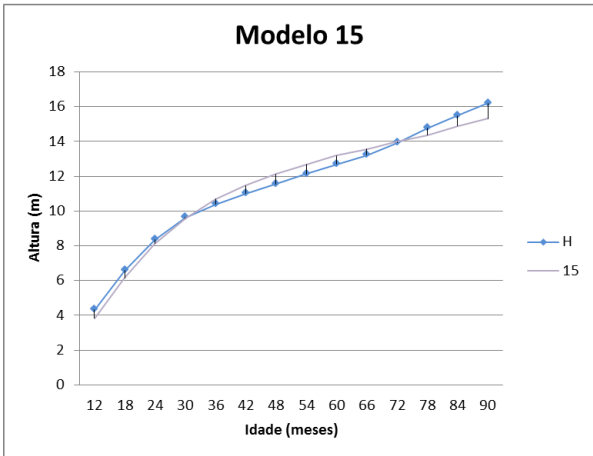
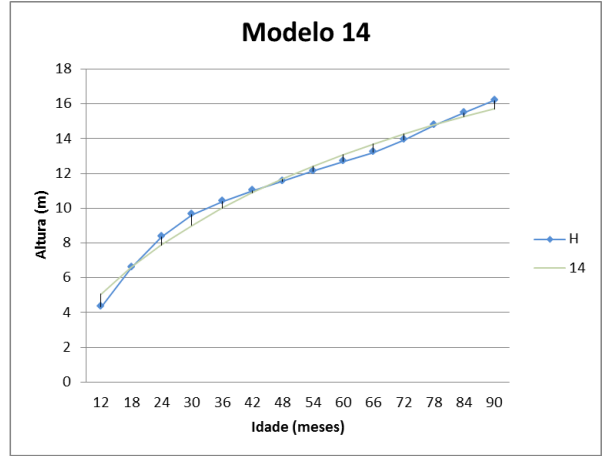
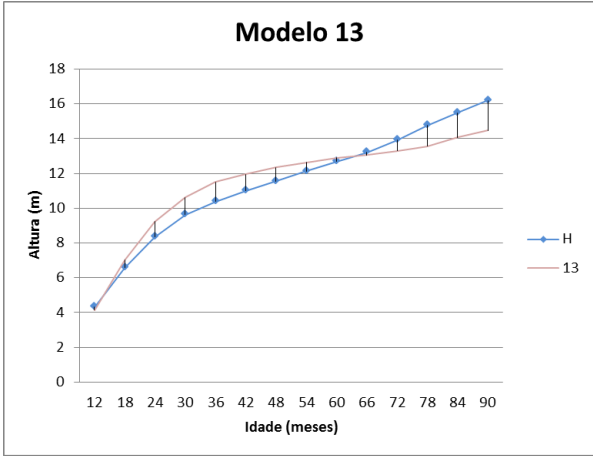


Figura 2B. Continuação

APÊNDICE C

Tabela 1C. Média das alturas dos clones de *Eucalyptus* spp. e estatística resultante da ANOVA dos blocos a cada idade de obtenção de dados

Clones árvores	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90
1 88	3,85	6,43	8,28	9,89	10,74	11,39	11,99	12,63	13,15	13,62	14,23	15,03	15,61	16,19
2 98	4,40	6,60	7,97	9,15	9,86	10,41	10,91	11,40	11,97	12,50	13,25	14,18	14,93	15,75
3 85	4,40	6,05	7,93	9,13	9,82	10,41	10,89	11,31	11,81	12,33	12,99	13,80	14,54	15,28
4 100	3,96	5,86	7,66	9,30	10,19	10,82	11,40	12,01	12,62	13,20	13,93	14,85	15,64	16,44
5 72	4,70	7,01	9,18	10,75	11,64	12,35	12,93	13,46	14,03	14,52	15,20	16,01	16,64	17,26
6 82	3,98	6,02	8,44	9,75	10,57	11,16	11,70	12,26	12,87	13,42	14,14	14,97	15,70	16,43
7 89	4,17	6,40	8,01	9,71	10,54	11,37	12,14	12,87	13,53	14,12	14,85	15,91	16,87	17,83
8 80	3,71	6,25	8,25	9,53	10,35	11,00	11,52	12,11	12,77	13,27	13,95	14,91	15,55	16,19
9 95	4,94	7,32	9,03	10,20	10,96	11,65	12,25	12,87	13,41	13,91	14,58	15,37	16,10	16,82
10 93	4,04	6,39	8,60	9,85	10,60	11,28	11,95	12,69	13,24	13,75	14,52	15,26	15,91	16,56
11 72	5,15	7,91	9,65	10,74	11,64	12,36	12,91	13,46	14,06	14,62	15,33	16,24	16,87	17,48
12 44	4,21	6,91	8,56	9,46	10,08	10,64	11,16	11,63	12,19	12,71	13,39	14,37	14,98	15,53
13 79	4,16	6,72	8,47	9,62	10,32	11,00	11,60	12,18	12,71	13,24	14,18	15,07	15,87	16,71
14 86	5,35	7,51	9,00	10,34	11,13	11,72	12,31	12,82	13,37	13,90	14,49	15,24	15,91	16,57
15 52	3,75	6,58	8,93	11,11	12,08	13,00	13,70	14,37	15,02	15,49	16,15	17,05	17,79	18,56
Total	1215													
F Bloco	3,4272	0,7479 ns	5,4512	11,3893	15,8331	23,0454	27,8962	29,5697	28,0078	28,2643	26,5069	21,2247	18,4269	14,7719
F Trat	7,1104	4,3280	2,6805	3,1939	4,0934	5,3047	5,6849	5,5502	5,4196	5,3847	5,2534	4,3116	4,2307	4,1098
CV%	8,7920	8,3517	7,8254	6,8647	6,2447	5,6994	5,5210	5,6342	5,5760	5,3270	5,0553	5,2702	5,1585	5,1511

APÊNDICE D

Tabela 1D. Modelos hipsométricos aplicados aos dados de Altura, CAP e idade dos clones de *Eucalyptus* spp. do Grupo 1, suas equações resultantes e estatísticas de seleção dos modelos (R_{aj}^2 %, S_{xy} e $S_{xy}\%$)

Modelos		Equações	R_{aj}^2 %	S_{xy}	$S_{xy}\%$	
Parabólico	1	$H_i = \beta_0 + \beta_1 CAP_i + \beta_2 CAP_i^2 + \beta_2 l_i + \varepsilon_i$	$\hat{H}_i = -0,6629 + 0,3643 CAP_i - 0,0029 C^2 + 0,0857 l_i$	92,89%	1,0279	8,33%
Hiperbólicos	2	$H_i = \beta_0 + \beta_1 (1/CAP_i^2) + \beta_2 l_i + \varepsilon_i$	$\hat{H}_i = 6,8738 - 527,4204 (1/CAP_i^2) + 0,1216 l_i$	87,45%	1,3589	11,01%
Potencial	3	$\ln(H_i) = \beta_0 + \beta_1 \ln(CAP_i) + \beta_2 l_i + \varepsilon_i$	$\hat{H}_i = 2,0764 CAP_i^{0,3993} \exp(0,0072 l_i)$	88,89%	1,2789	10,36%
Exponencial	4	$\ln(H_i) = \beta_0 + \beta_1 (1/CAP_i) + \beta_2 l_i + \varepsilon_i$	$\hat{H}_i = 13,6784 \exp(-14,2465 (1/CAP_i)) \exp(0,0065 l_i)$	92,19%	1,0728	8,69%
Semilogarítmico	5	$H_i = \beta_0 + \beta_1 \ln(CAP_i) + \beta_2 l_i + \varepsilon_i$	$\hat{H}_i = -8,6037 + 4,7438 \ln(CAP_i) + 0,0898 l_i$	92,35%	1,0615	8,60%
Schumacher	6	$\ln(H_i) = \ln(\beta_0) + \beta_1 \ln(CAP_i) + \beta_2 \ln(1/l_i) + \varepsilon_i$	$\hat{H}_i = 14,4303 \exp[(0,0069 CAP_i) - 16,3563 (1/l_i)]$	88,94%	1,2764	10,34%
Schumacher-Hall	7	$\ln(H_i) = \ln(\beta_0) + \beta_1 \ln(CAP_i) + \beta_2 \ln(l_i) + \varepsilon_i$	$\hat{H}_i = 0,8619 CAP_i^{0,3299} l_i^{0,3892}$	91,42%	1,1242	9,11%
Petterson	8	$H_i = \{1/(\beta_0 + \beta_1 (1/CAP_i) + \beta_2 l_i)\}^3 + \varepsilon_i$	$\hat{H}_i = (1/(0,4148 + 2,1368 (1/CAP_i) + 0,0009 l_i))^3$	91,32%	1,1307	9,16%
Prodan	9	$H_i = (CAP_i^2 / (\beta_0 + \beta_1 CAP_i + \beta_2 CAP_i^2 + \beta_3 l_i)^{-1}) + 1,3 + \varepsilon_i$	$\hat{H}_i = (CAP_i^2 / (0,0230 - 0,00055392 CAP_i + 0,00000307 CAP_i^2 + 0,00004557 l_i)^{-1}) + 1,3$	89,07%	1,2688	10,28%
Chapman-Richards	10	$H_i = \beta_0 [1 - \exp(-\beta_1 CAP_i)]^{\beta_2} + \varepsilon_i$	$\hat{H}_i = 18,9124 [1 - \exp(-0,0595 CAP_i)]^{2,4915}$	80,10%	1,7126	13,88%
	11	$H_i = \beta_0 [1 - \exp(-\beta_1 l_i)]^{\beta_2} + \varepsilon_i$	$\hat{H}_i = 22,4225 [1 - \exp(-0,0126 l_i)]^{0,7326}$	85,41%	1,4657	11,88%
	12	$H_i = \beta_0 [1 - \exp(-\beta_1 CAP_i l_i)]^{\beta_2} + \varepsilon_i$	$\hat{H}_i = 21,5695 [1 - \exp(-0,0002 CAP_i l_i)]^{0,4479}$	91,95%	1,0889	8,82%
Weibull	13	$H_i = \beta_0 [1 - \exp(-\beta_1 CAP_i^{\beta_2})] + \varepsilon_i$	$\hat{H}_i = 17,8675 [1 - \exp(-0,0031 CAP_i^{1,729})]$	80,51%	1,6943	13,73%
	14	$H_i = \beta_0 [1 - \exp(-\beta_1 l_i^{\beta_2})] + \varepsilon_i$	$\hat{H}_i = 24,0212 [1 - \exp(-0,0356 l_i^{0,7848})]$	85,47%	1,4630	11,86%
	15	$H_i = \beta_0 [1 - \exp(-\beta_1 CAP_i l_i^{\beta_2})] + \varepsilon_i$	$\hat{H}_i = 18,9761 [1 - \exp(-0,005 CAP_i l_i^{0,4978})]$	90,71%	1,1697	9,48%
Silva-Bailey	16	$H_i = \beta_0 \exp(\beta_1 (\beta_2^{CAP_i})) + \varepsilon_i$	$\hat{H}_i = 18,4933 \exp(-3,7018 (0,9314^{CAP_i}))$	80,47%	1,6958	13,74%
	17	$H_i = \beta_0 \exp(\beta_1 (\beta_2 l_i)) + \varepsilon_i$	$\hat{H}_i = 18,2979 \exp(-1,7380 (0,9682^{l_i}))$	84,43%	1,5141	12,27%
	18	$H_i = \beta_0 \exp(\beta_1 (\beta_2^{CAP_i l_i})) + \varepsilon_i$	$\hat{H}_i = 14,2553 \exp(-5,0776 (0,9961^{CAP_i l_i}))$	63,02%	2,3338	18,91%

Tabela 2D. Modelos hipsométricos aplicados aos dados de Altura, CAP e idade dos clones de *Eucalyptus* spp. do Grupo 2, suas equações resultantes e estatísticas de seleção dos modelos (R_{aj}^2 %, S_{xy} e S_{yx} %)

Modelos		Equações	R_{aj}^2 %	S_{xy}	S_{yx} %
Parabólico	1	$H_i = \beta_0 + \beta_1 CAP_i + \beta_2 CAP_i^2 + \beta_2 l_i + \epsilon_i$	$\hat{H}_i = -0,7265 + 0,3997 CAP_i - 0,0037 CAP_i^2 + 0,0799 l_i$	90,69%	1,0757 4,53%
Hiperbólicos	2	$H_i = \beta_0 + \beta_1 (1/CAP_i^2) + \beta_2 l_i + \epsilon_i$	$\hat{H}_i = 5,5355 + -180,7590 (1/CAP_i^2) + 0,1225 l_i$	84,22%	1,4006 5,89%
Potencial	3	$\ln(H_i) = \beta_0 + \beta_1 \ln(CAP_i) + \beta_2 l_i + \epsilon_i$	$\hat{H}_i = 1,9121 CAP_i^{0,4219} \exp(0,0070 l_i)$	87,16%	1,2635 5,32%
Exponencial	4	$\ln(H_i) = \beta_0 + \beta_1 (1/CAP_i) + \beta_2 l_i + \epsilon_i$	$\hat{H}_i = 12,9769 \exp(-12,8038 (1/CAP_i)) \exp(0,0064 l_i)$	90,12%	1,1084 4,66%
Semilogarítmico	5	$H_i = \beta_0 + \beta_1 \ln(CAP_i) + \beta_2 l_i + \epsilon_i$	$\hat{H}_i = -7,4410 + 4,4255 \ln(CAP_i) + 0,0840 l_i$	90,35%	1,0952 4,61%
Schumacher	6	$\ln(H_i) = \ln(\beta_0) + \beta_1 \ln(CAP_i) + \beta_2 \ln(1/l_i) + \epsilon_i$	$\hat{H}_i = 13,2207 \exp[(0,0083 CAP_i) - 16,0739 (1/l_i)]$	87,07%	1,2680 5,34%
Schumacher-Hall	7	$\ln(H_i) = \ln(\beta_0) + \beta_1 \ln(CAP_i) + \beta_2 \ln(l_i) + \epsilon_i$	$\hat{H}_i = 0,8335 CAP_i^{0,3357} l_i^{0,3867}$	89,44%	1,1458 4,82%
Petterson	8	$H_i = \{1/(\beta_0 + \beta_1 (1/CAP_i) + \beta_2 l_i)\}^3 + \epsilon_i$	$\hat{H}_i = (1/(0,4209 + 1,9894 (1/CAP_i) + -0,0009 l_i))^3$	89,27%	1,1550 4,86%
Prodan	9	$H_i = (CAP_i^2 / (\beta_0 + \beta_1 CAP_i + \beta_2 CAP_i^2 + \beta_3 l_i) + 1,3) + \epsilon_i$	$\hat{H}_i = (CAP_i^2 / (0,0290 - 0,00083269 CAP_i + 0,00000555 CAP_i^2 + 0,00005935 l_i)^{-1}) + 1,3$	88,29%	1,2066 5,08%
Chapman-Richards	10	$H_i = \beta_0 [1 - \exp(-\beta_1 CAP_i)]^{\beta_2} + \epsilon_i$	$\hat{H}_i = 17,8396 [1 - \exp(0,0697 CAP_i)]^{2,6834}$	78,70%	1,6275 6,85%
	11	$H_i = \beta_0 [1 - \exp(-\beta_1 l_i)]^{\beta_2} + \epsilon_i$	$\hat{H}_i = 21,6748 [1 - \exp(0,0110 l_i)]^{0,6944}$	84,99%	1,3661 5,75%
	12	$H_i = \beta_0 [1 - \exp(-\beta_1 CAP_i l_i)]^{\beta_2} + \epsilon_i$	$\hat{H}_i = 20,5756 [1 - \exp(-0,0002 CAP_i l_i)]^{0,4387}$	89,82%	1,1253 4,74%
Weibull	13	$H_i = \beta_0 [1 - \exp(-\beta_1 CAP_i^{\beta_2})] + \epsilon_i$	$\hat{H}_i = 16,6646 [1 - \exp(-0,0030 CAP_i^{1,8111})]$	79,16%	1,6097 6,77%
	14	$H_i = \beta_0 [1 - \exp(-\beta_1 l_i^{\beta_2})] + \epsilon_i$	$\hat{H}_i = 23,5523 [1 - \exp(-0,0374 l_i^{0,7516})]$	85,05%	1,3636 5,74%
	15	$H_i = \beta_0 [1 - \exp(-\beta_1 CAP_i l_i^{\beta_2})] + \epsilon_i$	$\hat{H}_i = 17,9126 [1 - \exp(-0,0059 CAP_i l_i^{0,4843})]$	88,56%	1,1927 5,02%
Silva-Bailey	16	$H_i = \beta_0 \exp(\beta_1 (\beta_2^{CAP_i}) + \epsilon_i$	$\hat{H}_i = 17,3822 \exp(-4,0513 (0,9328^{CAP_i}))$	79,35%	1,5086 6,35%
	17	$H_i = \beta_0 \exp(\beta_1 (\beta_2^{l_i}) + \epsilon_i$	$\hat{H}_i = 17,1886 \exp(-1,6879 (0,9597^{l_i}))$	83,95%	1,4348 6,04%
	18	$H_i = \beta_0 \exp(\beta_1 (\beta_2^{CAP_i l_i}) + \epsilon_i$	$\hat{H}_i = 14,3442 (\exp(-5,08075 (0,9963^{CAP_i l_i})))$	62,51%	2,3265 9,79%