

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

Rubeni Cunha dos Santos

**CURVAS DE CRESCIMENTO EM ALTURA E ÍNDICE DE SÍTIO DE
POVOAMENTOS CLONAIIS DE *Eucalyptus* spp. NA CHAPADA DO
ARARIPE, PERNAMBUCO**

RECIFE
2012

RUBENI CUNHA DOS SANTOS

**CURVAS DE CRESCIMENTO EM ALTURA E ÍNDICE DE SÍTIO DE
POVOAMENTOS CLONAIIS DE *Eucalyptus* spp. NA CHAPADA DO
ARARIPE, PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito para obtenção do título de mestre em Ciências Florestais.

Orientador: Prof. PhD. José Antônio Aleixo da Silva

Co-orientador: Prof. Dr. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira

RECIFE
2012

Ficha Catalográfica

S237c Santos, Rubeni Cunha dos
Curvas de crescimento em altura e índice de sítio de
poudamentos clonais de Eucalyptus spp. na Chapada do
Araripe, Pernambuco / Rubeni Cunha dos Santos. -- Recife,
2012.
84 f. : il.

Orientador (a): 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. Manejo florestal 2. Modelos matemáticos 3. Análise de
regressão 4. Idade de referência 5. Crescimento 6. Qualidade
do sítio I Silva, Jose Antonio Aleixo da, Orientador II. Título

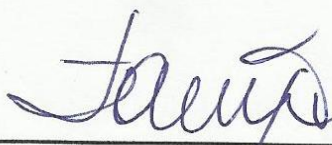
CDD 634.9

RUBENI CUNHA DOS SANTOS

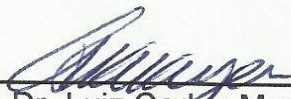
**CURVAS DE CRESCIMENTO EM ALTURA E ÍNDICE DE SÍTIO DE
POVOAMENTOS CLONAIS DE *Eucalyptus* spp. NA CHAPADA DO
ARARIPE, PERNAMBUCO**

Aprovado em: 24/02/2012

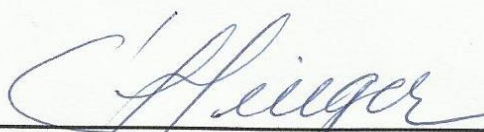
COMISSÃO EXAMINADORA:



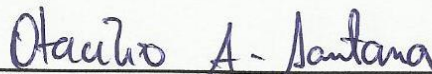
Prof. PhD. José Antônio Aleixo da Silva
(Departamento de Ciência Florestal - UFRPE)
Presidente da banca e Orientador



Prof. Dr. Luiz Carlos Marangon
(Departamento de Ciência Florestal - UFRPE)



Prof. Dr. César Augusto Guimarães Finger
(Centro de Ciências Rurais - UFSM)



Prof. Dr. Otacílio Antunes Santana
(Departamento de Biofísica e Radiobiologia – UFPE)

RECIFE
2012

Aos meus pais e familiares, que me apoiaram
para a realização dessa grande conquista,

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por todos os dias, pela saúde, motivação para poder esta sempre em busca dos meus ideais, pela vida concedida, pela fé e sabedoria divina.

Os meus familiares por todo amor, incentivo e compreensão em todos os momentos, com destaque e méritos aos meus pais, Cícera Helena Cunha dos Santos e Antônio Ribeiro dos Santos. As minhas irmãs Cristiana e Ana Cristina, as minhas queridas sobrinhas Kamylla e Heloísa e ao meu amado sobrinho Caio.

A todos do Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural de Pernambuco, pela oportunidade concedida para desenvolver esta dissertação de mestrado e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior do Ministério da Educação, pela concessão da bolsa de estudos. Ao CNPq pelo financiamento da pesquisa.

Ao professor e amigo José Antônio Aleixo da Silva, pela oportunidade, apoio e orientação concedidas e também ao meu co-orientador professor . Dr. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira.

À minha segunda casa literalmente falando, a Universidade Federal Rural de Pernambuco, onde morei por quase 5 anos na casa de estudante durante a graduação e as amizades lá conseguidas.

Aos Professores César Augusto Guimarães Finger, Luiz Carlos Marangon e Otacílio Antunes Santana, membros da banca, pela disponibilidade e contribuição com este trabalho. Agradeço pelas valiosas sugestões que recebi na ocasião da defesa.

A todos os integrantes do laboratório de manejo florestal, em particular a Fernando Gadelha, Francisco Sales, Kleybiana Dantas, Francisco Tarcísio e também aos integrantes do Departamento de Ciência Florestal em especial aos professores.

A todos os meus colegas e professores do Curso de Licenciatura em Ciências Agrícolas da UFRPE.

A todos os meus amigos e colegas de graduação em Engenharia Florestal, especialmente a Luiz Sávio, Diogo Pimentel, Felipe Rabelo, Mayara Pessoa, Cybelle Laís, Yuri Rômmel, Vítor Hugo, Danielle Souza e Renata Araújo, pela amizade, pelos anos de convivência e companheirismo.

Ao Programa de Educação Tutorial – PET, na pessoa da professora Ana Lícia Patriota Feliciano, que durante a graduação foi uma segunda mãe, pelos conselhos, ensinamentos e amizades.

Ao professor Silmar Gonzaga Molica, pela preciosa contribuição na correção da escrita deste trabalho, meu muito obrigado.

A bibliotecária Cléia do setor de Normalização da Biblioteca Central da UFRPE pela orientação quanto às referências bibliográficas.

A Débora Pereira da Silva, pela enorme confiança, amor e apoio confiados em todos os momentos.

Ao grande amigo Emanuel Arnoni Costa, pela inestimável ajuda e dedicação junto a este trabalho, pelas críticas e excelentes sugestões relevantes feitas durante o desenvolvimento dos nossos estudos. Tem minha admiração e reconhecimento e faço votos que consiga realizar todos os seus projetos profissionais.

Enfim, a todos os verdadeiros amigos aqui não mencionados, mas merecedores de muito mais que um simples agradecimento: este trabalho é dedicado a todos vocês.

O dia mais belo: **hoje**
A coisa mais fácil: **errar**
O maior obstáculo: **o medo**
O maior erro: **o abandono**
A raiz de todos os males: **o egoísmo**
A distração mais bela: **o trabalho**
A pior derrota: **o desânimo**
Os melhores professores: **as crianças**
A primeira necessidade: **comunicar-se**
O que traz felicidade: **ser útil aos demais**
O pior defeito: **o mau humor**
A pessoa mais perigosa: **a mentirosa**
O pior sentimento: **o rancor**
O presente mais belo: **o perdão**
O mais imprescindível: **o lar**
A rota mais rápida: **o caminho certo**
A sensação mais agradável: **a paz interior**
A maior proteção efetiva: **o sorriso**
O maior remédio: **o otimismo**
A maior satisfação: **o dever cumprido**
A força mais potente do mundo: **a fé**
As pessoas mais necessárias: **os pais**
A mais bela de todas as coisas: **O AMOR!!!**

(Madre Tereza de Calcutá)

BIOGRAFIA DO AUTOR

Rubeni Cunha dos Santos, filho de Cícera Helena Cunha dos Santos e Antônio Ribeiro dos Santos, nascido em 27 de setembro de 1982, na cidade de Vitória de Santo Antão, Pernambuco. cursou o ensino médio na antiga Escola Agrotécnica Federal de Vitória de Santo Antão – PE, na qual também concluiu o curso Técnico em Agropecuária no segundo semestre de 2001.

Em março de 2005, ingressou no curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Recife, graduando-se no segundo semestre de 2009.

No mês de agosto de 2007, ingressou no curso de Licenciatura em Ciências Agrícolas na UFRPE, graduando-se em setembro de 2011.

Em março de 2010 iniciou o curso de Pós Graduação em Ciências Florestais – UFRPE, em nível de mestrado, na área de concentração de Manejo Florestal.

Entre agosto a dezembro de 2010, realizou intercâmbio pelo Programa Nacional de Cooperação Acadêmica – Procad - CAPES na Universidade Federal de Santa Maria, no Rio Grande do Sul.

SANTOS, RUBENI CUNHA. Curvas de crescimento em altura e índice de sítio de povoamentos clonais de *Eucalyptus* spp. na Chapada do Araripe, Pernambuco. 2012. Orientador: José Antônio Aleixo da Silva; Co-orientador: Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira.

RESUMO

Neste trabalho foram comparados modelos matemáticos ajustados por análise de regressão para definição da capacidade produtiva por meio de curvas de índice de sítio, para clones de *Eucalyptus* spp. na Chapada do Araripe, em Pernambuco. A área de estudo estava localizada na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA, no município de Araripina, Pernambuco. Os dados foram medidos em 45 parcelas permanentes distribuídas com 15 tratamentos (clones de *Eucalyptus* spp.) em 3 repetições, com espaçamento de 3 x 2 m e área de 294 m² por parcela, com área útil de 150 m² dispostas em delineamento casualizado em blocos. A primeira medição em altura foi realizada aos dois meses após o plantio quando foi avaliada a sobrevivência, posteriormente todas as parcelas foram mensuradas a cada seis meses, tendo ao final do experimento as medidas aos 2, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54, 60, 66, 72, 78, 84, 90 meses. Em cada medição foram registrados a altura total e o diâmetro a altura do peito (DAP) de todas as plantas presentes na área útil de cada parcela. Contudo neste trabalho não foram utilizadas as quatro primeiras medidas, pois as plantas ainda estavam jovens e, conseqüentemente, ainda não havia competição e também ainda estavam sofrendo influência dos tratamentos silviculturais. Foram selecionados três modelos e o que obteve os melhores resultados foram escolhidos para se realizar a análise de covariância. Foram ajustados 5 modelos lineares e 5 modelos não lineares para os pares de dados de idade e altura coletados, o quais foram avaliados por meio das estatísticas de ajuste e precisão: coeficiente de determinação ajustado (R_{aj}^2), coeficiente de variação em porcentagem (CV%) e análise gráfica de resíduos em porcentagem. As diferenças de inclinação detectadas pela análise de covariância indicaram, de forma precisa, entre os quinze clones testados, 9 grupos com diferentes padrões de crescimento. Foi considerado necessário o ajuste de nove conjuntos de curvas de índice de sítio, com idade de referência de 72 meses, com intervalo de 2 metros entre as curvas. Todas as equações testadas para estimar o crescimento em altura em função da idade apresentaram bom ajuste, com destaque para os modelos não lineares. Para o estabelecimento dos nove conjuntos de curvas de índice de sítio, foi selecionado o modelo de Schumacher, pelas estatísticas apresentada, pela simplicidade e por estimar bem as alturas das árvores com apenas dois parâmetros apresentando as melhores distribuições gráficas dos resíduos.

Palavras chaves: modelos matemáticos; análise de regressão; idade; crescimento; qualidade do sítio.

SANTOS, RUBENI CUNHA. Growth curves for height and site index of clonal *Eucalyptus* spp. in the Araripe, Pernambuco. 2012. Adviser: José Antônio Aleixo da Silva; Comitê: Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira.

ABSTRACT

At this study were compared the mathematical models adjusted by regression analysis to define the productive capacity using curves site index for hybrid clones of *Eucalyptus* spp., In the Araripe, Pernambuco. The study area was located at the Experimental Station of the Agronomic Institute of Pernambuco - IPA, located in the municipality of Araripina, Pernambuco. The data were measured from 45 permanent plots with 15 treatments (clones of *Eucalyptus* sp.) in three repetitions, with a spacing of 3 x 2 m plot area was 294 m², with util area of 150 m², in a block design The first measurement was performed at the time two months after planting to verify the survival, after the planting all plots were measured every six months, with measurements at 2, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54, 60, 66, 72, 78, 84, 90 months. For each measurement were recorded the tree total height and the diameter at the breast height (DBH) of all trees. However this work did not consider the first four measures, because the plants were still young and therefore had not yet competition and also influence of the treatments were suffering forestry. Three models were to perform the analysis of covariance, Five linear and five nonlinear models were adjusted for the data collected, age and height . The adjusted models were evaluated through the following statistics and precision adjustment: adjusted coefficient of determination (R_{aj}^2), coefficient of variation in percentage, and residual graphical analysis in percentage. The differences in slope detected by analysis of covariance indicated, accurately among the fifteen clones tested, indicating the existence of nine groups with different growth patterns. It was considered necessary to adjust the nine sets of site index curves with reference age of 72 months, with an interval of 2 meters among the curves. All equations tested to estimate the growth in height according to age showed a good fit, especially for nonlinear models. For the establishment of the nine sets of site index curves, we selected the Schumacher model, for simplicity and to estimate the heights of trees and with only two parameters and, especially, for having made some better residual graphical distributions.

Keywords: mathematical models; regression analysis; age; growth; site quality.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Lista dos tratamentos do exeperimento no Polo Gesseiro do Araripe, Araripina, Pernambuco.....	31
Quadro 2- Modelos estatísticos selecionados para realizar a análise de covariância do experimento no Polo Gesseiro do Araripe, Araripina, Pernambuco....	32
Quadro 3- Modelos lineares e não lineares utilizados no experimento do Polo Gesseiro do Araripe do experimento no Polo Gesseiro do Araripe, Araripina, Pernambuco	34

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1- Alturas mínimas, médias e máximas, com respectivos desvios padrões, e percentagem de mortalidade dos 15 clones de *Eucalyptus* spp. em Araripina , Pernambuco.....37
- Tabela 2- Coeficientes e estatísticas de ajuste para os três modelos selecionados para a análise de covariância no experimento do Polo Gesseiro do Araripe, Araripina, Pernambuco.....38
- Tabela 3- Análise de covariância para testar diferença de nível e inclinação entre os 15 clones no experimento do Polo Gesseiro do Araripe, Araripina, Pernambuco.....40
- Tabela 4- Ajuste das melhores equações testadas para descrever a altura em função da idade, para nove grupos de clones de *Eucalyptus* sp. testados no Polo Gesseiro do Araripe, em Araripina, Pernambuco.....44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Mapa do Estado Pernambuco, localizando o município onde foram coletados os dados. (Fonte: Mapa de Pernambuco).....	28
Figura 2- Imagem de Satélite do experimento em campo na estação experimental do IPA, em Araripina – PE, obtida pelo programa Google Earth. (Fonte: BARROS, 2009). E croqui da parcela experimental com a área útil delimitada pela linha tracejada, compondo 25 plantas.....	30
Figura 3- Tendência de crescimento em altura dos clones 5, 7 e 15 unidos pela análise covariância.....	41
Figura 4- Tendência de crescimento em altura dos clones 6 e 8 unidos pela análise covariância.....	42
Figura 5- Tendência de crescimento em altura dos clones 2 e 4 unidos pela análise covariância.....	42
Figura 6- Tendência de crescimento em altura para os Grupos 1, 3, 5 e 9.....	43
Figura 7- Gráficos de resíduos (%) em função da altura estimada, para o modelo de Schumacher testado em nove grupos de clones de <i>Eucalyptus</i> spp. cultivados em Araripina, Pernambuco.....	47
Figura 8- Curvas de índice de sítio para o grupo 1, utilizando a equação de Schumacher, em experimento de clones de <i>Eucalyptus</i> spp. no Polo Gesseiro do Araripe, Araripina, Pernambuco.....	49
Figura 9- Curvas de índice de sítio para o grupo 2, utilizando a equação de Schumacher, em experimento de clones de <i>Eucalyptus</i> spp. no Polo Gesseiro do Araripe, Araripina, Pernambuco.....	49
Figura 10- Curvas de índice de sítio para o grupo 3, utilizando a equação de Schumacher, em experimento de clones de <i>Eucalyptus</i> spp. no Polo Gesseiro do Araripe, Araripina-PE.....	50
Figura 11- Curvas de índice de sítio para o grupo 4, utilizando a equação de Schumacher, em experimento de clones de <i>Eucalyptus</i> spp. no Polo Gesseiro do Araripe, Araripina-PE.....	50

Figura 12- Curvas de índice de sítio para o grupo 5, utilizando a equação de Schumacher, em experimento de clones de <i>Eucalyptus</i> spp.no Polo Gesseiro do Araripe, Araripina, Pernambuco.....	51
Figura 13- Curvas de índice de sítio para o grupo 6, utilizando a equação de Schumacher, em experimento de clones de <i>Eucalyptus</i> spp.no Polo Gesseiro do Araripe, Araripina, Pernambuco.....	51
Figura 14- Curvas de índice de sítio para o grupo 7, utilizando a equação de Figura Schumacher, em experimento de clones de <i>Eucalyptus</i> spp.no Polo Gesseiro do Araripe, Araripina, Pernambuco.....	52
Figura 15- Curvas de índice de sítio para o grupo 8, utilizando a equação de Schumacher, em experimento de clones de <i>Eucalyptus</i> spp.no Polo Gesseiro do Araripina, Pernambuco.....	52
Figura 16- Curvas de índice de sítio para o grupo 9, utilizando a equação de Schumacher, em experimento de clones de <i>Eucalyptus</i> spp. no Polo Gesseiro do Araripe, Araripina-PE.....	53

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1	POLO GESSEIRO DO ARARIPE	18
2.2	O GÊNERO <i>Eucalyptus</i>	20
2.3	CONSIDERAÇÕES SOBRE O CRESCIMENTO DAS ÁRVORES.....	22
2.4	MODELOS MATEMÁTICOS	23
2.5	QUALIDADE DO SÍTIO	25
3	MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1	LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	28
3.2	CLIMA, VEGETAÇÃO E RELEVO	29
3.3	CARACTERÍSTICAS EDÁFICAS	29
3.4	CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO	29
3.5	OBTENÇÃO DOS DADOS	31
3.6	ANÁLISE DOS DADOS	32
3.6.1	Análise de covariância	33
3.7	MODELOS MATEMÁTICOS	33
3.8	SELEÇÃO DAS EQUAÇÕES DE REGRESSÃO	34
3.8.1	Coefficiente de determinação ajustado (R^2_{aj})	34
3.8.2	Coefficiente de variação (CV%)	35
3.8.3	Distribuição gráfica dos resíduos	35
3.9	CONSTRUÇÃO DAS CURVAS DE ÍNDICE DE SÍTIO	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1	CARACTERIZAÇÃO GERAL DOS DADOS	37
4.2	MELHOR MODELO PARA A ANÁLISE DE COVARIÂNCIA	38
4.2.1	Análise do desenvolvimento das curvas de crescimento em altura dos clones	39
4.3	SELEÇÃO DO MODELO	44
5	CONFECÇÃO DAS CURVAS DE ÍNDICE DE SÍTIO	48
6	CONCLUSÕES	54
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
	APÊNDICE	61

1 INTRODUÇÃO

As florestas nativas do Brasil foram e vem sendo exploradas excessivamente em regiões com elevado crescimento industrial, a exemplo da microrregião de Araripina, no semiárido do Estado de Pernambuco, região responsável pela maior produção de gesso do país e que utiliza lenha como fonte energética para a calcinação da gipsita. Na maior parte, a lenha é oriunda da vegetação local, a Caatinga, que possui lento crescimento em razão de déficit hídrico. O problema se agrava por ser a maioria da lenha explorada de forma ilegal e predatória, causando a devastação da vegetação nativa da região.

Pelo risco de extinção da vegetação nativa as florestas plantadas passam a desempenhar papel essencial como alternativa para atender às necessidades de recursos florestais, como os produtos da madeira e os seus derivados (LIMA, 1996). Entre as florestas plantadas merecem destaque os povoamentos com várias espécies de *Eucalyptus*, gênero esse mais plantado para várias finalidades no Brasil. No entanto, existe uma grande variabilidade intra e interespecífica para as espécies de *Eucalyptus*, sobretudo em características como produção de biomassa, taxa de crescimento e resistência a déficit hídrico (CHAPERON, 1987). Uma maneira de sustentar as características favoráveis, impedindo a variabilidade encontrada em árvores obtidas a partir de sementes, é a utilização da propagação vegetativa (HIGASHI et al., 2004).

Deste que se iniciou estabelecimento das primeiras florestas clonais comerciais do gênero *Eucalyptus* no Brasil, na região litorânea do Espírito Santo, a produção de mudas clonais tem alcançado avanços tecnológicos expressivos (HIGASHI et al., 2004). O elevado número de espécies e clones confere ao *Eucalyptus* grande possibilidade de expansão geográfica e econômica, uma vez que esses materiais genéticos são adaptados às mais diversas condições edafoclimáticas e atendem a inúmeros tipos de exploração econômica. As florestas clonais de *Eucalyptus*, em particular, proporcionam uma maior uniformização da matéria prima florestal, maior produção de madeira por unidade de área e redução da idade de corte.

Para obtenção desses benefícios é essencial o manejo adequado, voltado aos objetivos da produção e a capacidade do sítio. Segundo Campos e Leite (2009), o crescimento e a produção de povoamentos florestais equiâneos dependem da

capacidade produtiva do local, dos tratamentos silviculturais complementares, da idade e do grau de uso do povoamento. O manejo desses povoamentos define elementos essenciais relativos ao local de cultivo, como a capacidade produtiva do sítio e a predição de estoques a serem colhidos (DAVIS e JOHNSON, 1987). Assim, a definição da capacidade produtiva do sítio é fundamental ao manejo florestal.

Dentre os fatores do meio que definem a produtividade de povoamentos florestais, encontram-se as características físicas e químicas do solo, as características do clima, as características fisiográficas e os fatores bióticos (CARVALHO, 1999).

Conforme Scolforo (1998), Índice de Sítio é o conjunto de condições climáticas, edáficas e biológicos que interferem no desenvolvimento de povoamentos florestais numa determinada área florestal.

Existem diversos estudos sobre a classificação da capacidade produtiva por meio da construção de curvas de índice de sítio. Vários métodos para a construção das curvas de índice de sítio, podem ser empregados: método da curva-guia, que gera curvas anamórficas; o método da equação das diferenças, que gera curvas anamórficas e polimórficas; e o método da predição de parâmetros, que é usado, principalmente, para gerar curvas polimórficas disjuntas (CLUTTER et al., 1983). No entanto, na maioria das vezes, as classificações são feitas pelo método da curva-guia, com dados de parcelas permanentes ou de análise de tronco.

As curvas de índice de sítio podem ser originadas por ajuste de modelos matemáticos pela técnica de análise de regressão, que descrevem o crescimento das árvores ao longo do tempo, sendo ferramenta importante no estudo do crescimento e da produção (TONINI, 2000).

Este trabalho objetivou comparar modelos matemáticos ajustados por análise de regressão, para definição da capacidade produtiva do local por meio de curvas de índice de sítio, para clones de *Eucalyptus* spp., na Chapada do Araripe, em Pernambuco.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O POLO GESSEIRO DO ARARIPE

As minas brasileiras de gipsita localizam-se em oito Estados das regiões Norte e Nordeste, pois cerca de 93% delas estão concentradas nos Estados da Bahia (44%), Pará (31%) e Pernambuco (18%). Contudo, os depósitos mais importantes estão situados no Nordeste, fazendo parte da sequência sedimentar cretácea conhecida como Chapada do Araripe, situada nos limites dos Estados de Pernambuco, Ceará e Piauí, entre os paralelos 7° e 8° da latitude sul e nos meridianos de 39° e 41° de longitude oeste (DNPM, 2003).

Em Pernambuco, as principais ocorrências de gipsita estão localizadas nos municípios de Araripina, Bodocó, Exu, Ipubi e Trindade, na microrregião de Araripina, que é detentora de 18% das reservas nacionais (LYRA SOBRINHO et al., 2007) e que tem como principal atividade econômica a exploração mineral de gipsita, sendo responsável por cerca de 95% da produção nacional de gesso. Esse Pólo Gesseiro é composto por 39 minas, 139 calcinadoras e 726 indústrias de pré-moldados, gerando mais de 13.200 empregos diretos e 66.000 indiretos, com faturamento anual de US\$ 364 milhões por ano. Com uma capacidade de exploração por cerca de 1.220 milhões de toneladas, com previsão para 600 anos (SINDUSGESSO, 2012).

Segundo Baltar et al. (2003), os principais fatores que contribuem para o desenvolvimento destacado do Polo Gesseiro do Araripe são as condições favoráveis de geomorfologia de jazida, de mineração e de relação estéril/minério; a elevada pureza do minério, já que é considerado o de melhor qualidade no mundo, com teor médio de pureza em torno de 95%; e a boa localização, pois é situado na fronteira dos Estados de Pernambuco, Ceará e Piauí, ou seja, a um raio de cerca de 700 km de oito capitais de Estados (Salvador, Aracajú, Maceió, Recife, João Pessoa, Natal, Fortaleza e Teresina) e oito importantes portos (Salvador, Aratú, Recife, Suape, Mucuripe, Pecém, Itaquí e Ponta da Madeira).

Segundo a ATECEL (2006), a matriz energética do Polo Gesseiro do Araripe é formada por eletricidade, derivados de petróleo e, principalmente, biomassa na forma de lenha. A eletricidade está presente em todas as etapas da cadeia produtiva, mas a sua contribuição no consumo energético total é de apenas 3%. Como contraponto, a lenha é utilizada exclusivamente na calcinação, sendo

responsável pela maior parte do consumo energético em todas as atividades do Polo Gesseiro, 73%. Em 2003, cerca de 76% das calcinadoras utilizaram lenha como combustível. O coque é o segundo energético mais utilizado, com 10%, seguido pelo óleo BPF (baixo poder de fusão), com 8%, ambos utilizados na calcinação. O diesel, que representa 5% do consumo, é essencialmente utilizado na etapa de mineração (94,7%), muito embora, 5,3% das calcinadoras também o utilizem (PNMA, 2005).

O alto consumo de lenha na região do Araripe ocorre pelo fato de que as tecnologias alternativas de geração de energia apresentam custo marginal superior ao da lenha. Isto implica a opção de empresários do setor pelo uso da lenha como fonte energética, gerando o grande problema de ser a maior parte desta oriunda de forma ilegal da caatinga (ALBUQUERQUE, 2002). Assim, a matriz energética é um dos principais gargalos ao desenvolvimento do setor gesseiro do Estado de Pernambuco e, atualmente, a degradação ambiental dessa microrregião é principalmente, associada à exploração e industrialização de minerais, especialmente da gipsita (ARAÚJO, 2004).

Desta forma, é obrigatória a manutenção ou formação, diretamente ou com a participação de terceiros, de florestas destinadas à sustentação das atividades desenvolvidas, de acordo com a Lei nº. 11.206 (s.d.).

Contudo, conforme Figueirôa et al. (2005), a vegetação lenhosa da caatinga é uma das fontes de energia mais usadas pela população nordestina, sendo a lenha e o carvão os principais materiais demandados na região do semiárido. Segundo Cunha et al. (2008), a falta de conhecimentos e a desinformação, aliados à cultura de subsistência, levam as populações locais a desmatar a caatinga. Segundo Albuquerque (2002), entre 1989 e 2004, a caatinga da região do Araripe sofreu redução de 17%, para fornecer lenha para as atividades econômicas da região. Em média, 168.752 hectares foram desmatados, com a estimativa de 11.200 hectares/ano.

Devido às características peculiares do bioma caatinga em razão de sua localização, a vegetação apresenta lento desenvolvimento, e, desta forma, não comporta a demanda energética de lenha. Segundo Sá (1998), a estimativa do volume de lenha produzida pela caatinga varia de acordo com o porte e estado da vegetação, sendo que as vegetações arbustivo-arbóreo aberta, arbustivo-arbóreo fechada e arbóreo podem representar, respectivamente, 126,13; 181,12; e 287,73 st

ha⁻¹. Contudo, essas vegetações de caatinga apresentam diferentes e longos períodos de rotação, em média superior a 10 anos, apresentando incremento médio anual de apenas 15 st ha⁻¹ em locais de boa produção (SILVA, 2008-2009). De acordo com Barros (2009), o incremento médio anual da vegetação de caatinga sob o regime de manejo florestal em Trindade/PE, aos 7 anos, foi de 7,43 st ha⁻¹.

Silva (2008-2009) relata que, sem dúvida, o Polo Gesseiro do Araripe é um fator de grande pressão sobre a vegetação nativa, pois a ação antrópica se processa com grande intensidade, exigindo estratégias para conter a devastação florestal que incluam planos de manejo florestal sustentado, aplicação de técnicas de plantio, bem como medidas para evitar o processo de desertificação, propiciada pela prática inadequada de exploração florestal.

Diante desta problemática, o uso de espécies de rápido crescimento é uma opção viável e o uso do gênero *Eucalyptus* é uma boa alternativa, pois este é amplamente plantado no Brasil para a produção de madeira para diversas finalidades, em função do rápido crescimento, da boa adaptação ecológica e da boa qualidade da madeira.

2.2 O GÊNERO *Eucalyptus*

O gênero *Eucalyptus*, originário da Austrália, pertence à família Myrtaceae, incluindo mais de 700 espécies e variedades endêmicas naquele país, ocorrendo ainda, mesmo que em pequeno número de espécies, na Papua Nova Guiné, Indonésia e Filipinas. É um gênero de grande plasticidade e de dispersão mundial, crescendo satisfatoriamente em grande amplitude edafoclimática, extrapolando aquelas do local de origem dentro de uma variação longitudinal de cultivo que vai de 70°N até 43°39'S (LIMA, 1996).

No entanto, grande impulso em plantios de eucaliptos em escala comercial, no Brasil, ocorrerem na década de 40, na região da Bacia do Rio Doce, em Minas Gerais, em locais em que havia mineração de ferro para a siderurgia, em razão de seu uso na forma de carvão vegetal para o beneficiamento do minério de ferro (CHANDLER e HANSON, 1998). Rizzini (1978), em seus estudos a respeito das espécies brasileiras, não deixou de avaliar a importância do gênero *Eucalyptus*, mesmo sendo composto por espécies exóticas. O autor apresenta uma breve

descrição das principais espécies do gênero, destacando *E. paniculata*, *E. globulus*, *E. camaldulensis*, *E. grandis* e *E. saligna*, dentre outras.

O gênero *Eucalyptus* é o mais plantado no mundo para produção de lenha e celulose, sendo as principais razões de sua grande aceitação a elevada taxa de crescimento, a facilidade de reprodução, a rusticidade, o altíssimo nível de melhoramento genético em produtividade, a qualidade da madeira e a fácil adaptação a vários tipos climáticos (TRABADO e WILSTERMANN, 2008). As plantações têm sido formadas nas mais variadas condições ambientais, de regiões tropicais equatoriais a subtropicais e semi-áridas, sob condições climáticas que variam de mediterrânea a temperada e em elevações que variam do nível do mar a mais de 4000 metros de altitude nas regiões dos Andes (LIMA, 1996).

O Brasil é o maior plantador de *Eucalyptus* no mundo (21%) e detém as condições e as tecnologias mais avançadas no cultivo desse gênero e, em razão disso, obtém os mais altos índices de produtividade, quando comparado com outros gêneros florestais e com outros países.

O cultivo do eucalipto obteve grande aumento em produtividade, na qualidade e na homogeneidade da matéria prima obtida devido ao avanço alcançado em pesquisas com hibridação e clonagem (BERGER et al., 2000). A clonagem tem contribuído na propagação do gênero *Eucalyptus*, permitindo a conservação das características das plantas-mãe, geneticamente superiores, permitindo a obtenção de talhões mais uniformes, com maior crescimento, maior homogeneidade e maior qualidade da matéria prima a ser usada pela indústria, em menor espaço de tempo (Foekel; Assis, 1995, citados por FLORES et al., 2000).

Segundo Ferreira (1992), a silvicultura clonal se originou no programa de incentivos fiscais do Governo Federal do Brasil, no ano de 1966. No ano de 1970, o rendimento volumétrico médio das plantações de *E. grandis* estava entre 17m³/ha/ano a 30 m³/ha/ano e o aumento do rendimento para 30 a 50 m³/ha/ano foi devido à seleção entre procedências de sementes oriundas da Austrália, em cooperação com a FAO. A partir desses resultados, intensificaram-se as seleções individuais e as hibridações, e, na atualidade, a produtividade média dos plantios de *Eucalyptus* está em torno de 40 m³/ha/ano (SBS, 2006).

No ano de 2005, o Brasil já possuía 5,6 milhões de hectares de florestas plantadas, sendo 3,4 milhões de hectares com *Eucalyptus*, 1,8 milhão de hectares

com Pinus e 326 mil hectares de outras espécies, como acácia-negra, gmelina, pópulus, seringueira, teca e araucária. Em 2006, houve o acréscimo de 627.000 hectares de florestas para fins de produção. A maior parte das florestas situam-se nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste (no Sul da Bahia e no Maranhão) (SBS, 2006).

Trabado (2009) durante o XIII Congresso Florestal Mundial na Argentina lançou um mapa global das plantações de eucalipto em todo o mundo no ano de 2009. No total existem 20.071,701 milhões ha, sendo:

Ásia: 8,4 milhões hectares;

America: 7,5 milhões hectares;

África: 2,4 milhões hectares;

Europa: 1,3 milhões hectares;

Oceania: 1,0 milhões hectares;

O grande destaque para o Brasil com: 4.258.704 milhões de hectares plantados, seguido pela Índia com: 3.942.600 milhões de hectares e da China com: 2.609.700 hectares. No que correspondem respectivamente em 21%, 19% e 13%, fazendo estes três países produzirem mais de 50% das plantações em todo o mundo.

2.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CRESCIMENTO DAS ÁRVORES

Segundo Campos e Leite (2009), o crescimento é o processo caracterizado por modificações na forma e no tamanho do tronco, pela adição contínua de novas camadas de lenho ao longo de todo o material lenhoso pré-existente.

O crescimento das árvores está sujeito à disponibilidade de recursos ambientais, como temperatura, precipitação, insolação, vento, nutrientes e características edáficas e topográficas; de fatores de competição, como a influência de outras espécies e o espaço físico disponível, e da constituição genética, além de sua história de desenvolvimento (POORTER e BONGERS, 1993). Cada um desses fatores pode afetar, de forma isolada ou em conjunto, o desenvolvimento das árvores.

O crescimento de uma árvore ou de um povoamento florestal é de grande valia para a idealização de um empreendimento florestal, pois várias decisões são dependentes diretamente dessa estimativa, como, por exemplo, a determinação da quantidade de terra necessária para suportar certo nível de produção presente ou

desejado, a quantidade de madeira que pode ser cortada anualmente, as espécies e tipos de produtos que estão ou se estarão disponíveis (SCHNEIDER e SCHNEIDER 2008).

Segundo Daniel et al. (1979), o crescimento de qualquer organismo vivo segue a forma sigmoideal. No entanto, a forma do crescimento pode variar para cada situação relativa ao genótipo e ao ambiente. Para cada caso, o silvicultor necessita prognosticar a extensão do período de crescimento na fase juvenil, a taxa de crescimento (inclinação da curva) durante a fase de pleno vigor e o período em que a taxa de crescimento declina. Esse crescimento deve ser relacionado com o grau em que as características das árvores são controladas pelo genótipo e pelo ambiente.

Conforme Schneider e Schneider (2008), o crescimento em volume é decorrência de uma combinação do crescimento em altura e diâmetro, mas o crescimento em altura é mais importante na fase juvenil e o crescimento em diâmetro na fase adulta. Em sítios menos produtivos, o crescimento total é menor, mas o crescimento em altura em geral é menos afetado do que o crescimento em diâmetro. Segundo experiências realizadas na Europa e África do Sul, graus razoáveis de desbaste permitem que o crescimento em altura não seja afetado pela densidade de plantio (HILEY, 1959, apud SCHNEIDER e SCHNEIDER, 2008).

Segundo Scolforo (1998), o crescimento das árvores pode ser expresso de diferentes maneiras, entre as quais o incremento corrente anual (ICA), o incremento médio anual (IMA), incremento periódico (IP) e o incremento periódico médio (IPM).

2.4 MODELOS MATEMÁTICOS

A necessidade de se conhecer a situação presente dos povoamentos, bem como sua dinâmica, tem acarretado o sucessivo aperfeiçoamento das técnicas de ajuste de modelos de crescimento e produção. Estes modelos podem ser definidos como o conjunto de relações matemáticas que descrevem quantitativamente o povoamento florestal. As informações sobre o estoque presente e suas mudanças no tempo servem para o manejador conhecer o efeito da aplicação das técnicas silviculturais, como o espaçamento, a intensidade de desbaste e a adubação (CAMPOS et al., 1986).

Campos e Leite (2009) relatam que, em estatística, a expressão modelo é uma relação funcional dos dados de uma amostra. Por exemplo, a relação $Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i}$ é denominada modelo linear simples. Porém, a expressão $\hat{Y}_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_{1i}$, em que $\hat{\beta}_0$ e $\hat{\beta}_1$ são os estimadores dos parâmetros β_0 e β_1 , é denominada equação.

Conforme Selle (1993), quando se expressa o crescimento por funções matemáticas, é de fundamental importância comparar a forma de crescimento das árvores de distintos locais, ou seja, verificar se elas têm o desenvolvimento semelhante. A ocorrência de distinção no crescimento da altura em diferentes locais, para uma mesma espécie, é denominada polimorfismo entre formas de crescimento, indicando a necessidade de ajustar funções individuais para os diferentes sítios, visando a obtenção de maior precisão na descrição dos locais.

Por outro lado, este problema pode ser resolvido pela análise de covariância. Na análise de covariância, a princípio, testa-se a hipótese da não diferença de inclinação e, caso exista evidência da diferença de inclinação, a hipótese de diferença de nível é testada. Caso a diferença for não significativa para inclinação e nível, uma única regressão pode ser ajustada ignorando a diferença em grupos (SCHNEIDER et al., 2009).

Conforme Scolforo (1998) existem dois tipos de modelos de crescimento, que são: empíricos e biológicos. A principal diferenciação entre um modelo empírico e um modelo biológico é que o modelo empírico recorre a uma expressão matemática de uma relação entre variáveis que pode ser considerada lógica e, o modelo biológico, é uma expressão de uma hipótese lógica referente à biologia do processo de crescimento (PIENAAR, 1965).

Contudo, o modelo biológico, mesmo propiciando boa análise do crescimento, é de difícil ajuste e manuseio, por causa da sua complexidade. Assim, os modelos empíricos são mais comumente usados, pois os mesmos são de fácil uso e proporcionam estimativas confiáveis de crescimento e produção (SCOLFORO, 1998).

O ajuste de modelos matemáticos a dados de crescimento foram abordados por vários autores, entre os quais Schumacher (1939), Bertalanffy (1951), Richards (1959), Prodan (1968), Machado (1978), Silva e Bailey (1986). Estes modelos têm

sido usados extensamente com sucesso em muitos trabalhos, como os de MACHADO (1997), DIAS (2005), OLIVEIRA (2008), TEO (2010).

Vários são os modelos lineares e não lineares usados na construção de curvas de índice de sítio polimórficas e monomórficas para prognosticar a produtividade do sítio florestal, considerando diferentes países, espécies e métodos de ajuste.

Conforme Cieszewski e Bella (1989), os modelos lineares são menos flexíveis e na maioria das vezes requerem um grande número de parâmetros para descrever os dados. Já os modelos não - lineares são mais flexíveis e podem ter base biológica.

Tonini (2003) relata que em pesquisas realizadas no Brasil e no mundo constatou-se que os modelos mais utilizados são os de Schumacher, Chapman-Richards e Prodan.

Em relação à comparação e seleção entre modelos de regressão, utilizam-se vários critérios estatísticos. No entanto Finger (1992) relata que, em geral, a maioria dos autores usa o coeficiente de determinação (R_{aj}^2) e o erro padrão da estimativa (S_{yx}), em conjunto, como critérios de comparação, analisando também a distribuição do erro, para a seleção segura de uma equação ajustada.

2.5 QUALIDADE DO SÍTIO

Conforme Daniel et al. (1979), a produtividade de uma área florestal é definida em termos da qualidade do sítio, que é a medida da máxima quantidade de madeira que a área pode produzir em um determinado momento, em um determinado macroclima.

A qualidade do sítio caracteriza o tipo e a magnitude de riscos e oportunidades que o Engenheiro Florestal tem em manejar um povoamento, pois em uma decisão silvicultural se leva em consideração à qualidade do sítio. Assim sendo, uma das atividades fundamentais na formação de povoamentos florestais é a determinação de unidades de produção por meio da classificação de sítios florestais.

Para Spurr (1952), a qualidade do sítio é a soma total dos fatores biológicos edáficos e climáticos que afetam as plantas de uma espécie. O sítio compreende a soma de todos os fatores ambientais, entre os quais um ou mais são dominantes.

Em termos florestais, a capacidade de um sítio é expressa pela sua qualidade em relação a uma espécie, ou seja, é uma estimativa da capacidade produtiva de uma espécie em determinada área florestal, visando predição e classificação da produção.

De acordo com Carmean (1970), o índice de qualidade de sítio mais utilizado para determinar a produtividade de uma área florestal é a altura das árvores dominantes e codominantes em uma determinada idade índice.

Esta classificação da capacidade produtiva é feita com o ajuste de curvas de índice de sítio, tendo como pressupostos que cada sítio sustenta o crescimento em altura, na dependência da espécie e das condições edafoclimáticas do local.

A identificação da curva da altura sobre a idade, com relação à altura na idade índice, define os índices de sítio absolutos. Da mesma forma, a relação altura/idade poderia ser identificada por números romanos (I, II, III,IV, respectivamente, indicando do melhor ao pior sítio), dando origem as classes de sítio (BURGER, 1975).

Para Batista e Couto (1986), o emprego da altura como expressão da qualidade do sítio pode, segundo o método amostral que for usado para a obtenção dos dados, definir dois tipos de curvas: as curvas harmônicas ou anamórficas e as naturais ou polimórficas.

Alder (1980) e Clutter et al. (1983) dizem que, para se ajustar curvas anamórficas, ajusta-se uma única função para todo conjunto de dados, obtendo-se uma curva guia. Após isso, é adicionada uma série de curvas paralelas, com intercepto variável, acima e abaixo deste, as quais têm a mesma forma, diferindo somente em amplitude por uma porcentagem fixa.

Já para curvas polimórficas, segundo Clutter et al. (1983), o processo de ajuste exige medições repetidas em intervalos sucessivos de tempo, usando parcelas permanentes ou análise de tronco de espécies que apresentam anéis de crescimento visíveis. Com os dados, ajusta-se uma função para cada árvore, parcela amostrada ou sítio natural.

Para Scolforo (1993), as parcelas permanentes medidas repetidamente ao longo do tempo são uma das fontes de dados mais desejáveis para ajuste de curvas de índices de sítios, pois possibilitam o acompanhamento do padrão de desenvolvimento das árvores.

Na maioria das vezes, a qualidade do sítio é avaliada com base nas alturas médias das árvores dominantes do povoamento. Para Schneider e Schneider (2008), o principal motivo para desprezar a altura média de todas as árvores em favor da altura dominante deve-se ao efeito do desbaste em que se cortam as árvores menores do povoamento, elevando a altura média. Por sua vez, a altura dominante sofre pouco efeito da densidade do povoamento, desde que não se faça um desbaste pelo alto alterando o estrato superior.

Em situação em que não ocorrem desbastes, a altura média das árvores do povoamento pode ser utilizada na representação o índice de sítio.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo da presente pesquisa estava localizada em Araripina-PE, na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA, situado nas coordenadas geográficas 7° 27', 37" Latitude Sul e 40° 24', 36" Longitude W, e altitude de 831m. O município de Araripina se localiza no extremo oeste do Estado de Pernambuco, fazendo divisa, ao norte, com o Estado do Ceará e, ao oeste, com o Estado do Piauí, distando 683 km da cidade do Recife, conforme mostra a Figura 1. A área total do município é de aproximadamente 1892,9 km², com uma população de 77.302 habitantes, distribuída entre a zona rural e urbana (IBGE, 2010).



(Fonte- Mapa de Pernambuco).

Figura 1- Mapa do Estado Pernambuco, localizando o município onde foram coletados os dados.

3.2 CLIMA, VEGETAÇÃO E RELEVO

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo BshW', semiárido, quente com temperatura média de 25°C, com chuvas de verão – outono. A precipitação média anual é de aproximadamente 650 mm, concentrada entre dezembro e março, em que ocorre mais de 70% do total anual, ficando os demais meses com o restante, o que produz déficit hídrico que se acumula de maio a janeiro (ARAÚJO, 2004).

A vegetação original da área é constituída unicamente de caatinga. O relevo é relativamente plano.

3.3 CARACTERÍSTICAS EDÁFICAS

O solo tem uma predominância do tipo latossolo vermelho-amarelo, com textura arenosa. Os níveis de fósforo variam de 0,7 a 2 ppm; os de potássio, de 37 a 92 ppm; e os de Ca + Mg, de 1,1 a 2,1 meq/100 cm³ (SANTOS, 2011).

Os latossolos vermelho-amarelos são formados pelo processo denominado latolização que consiste basicamente na remoção da sílica e das bases do perfil (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, etc), após transformação dos minerais primários constituintes (EMBRAPA, 2010).

3.4 CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi implantado no começo do mês de março de 2002, recebendo a denominação de Módulo de Experimentação Florestal do Polo Gesseiro do Araripe. As unidades amostrais utilizadas eram parcelas de forma retangular, com dimensões de 14 m x 21 m, contendo 49 plantas agrupadas em 7 linhas, no espaçamento 3 m x 2 m, sendo 25 plantas na área útil, conforme observado na Figura 2.



Figura 2- Imagem de Satélite do experimento em campo na estação experimental do IPA, em Araripina – PE, obtida pelo programa Google Earth. (Fonte: BARROS, 2009). E croqui da parcela experimental com a área útil delimitada pela linha tracejada, compondo 25 plantas.

As mudas dos clones de eucalipto foram provenientes da empresa Comercial Agrícola Paineiras LTDA, localizada na cidade de Urbano Santos, no Estado do Maranhão.

No experimento foram testados 15 tratamentos (clones de *Eucalyptus* spp.), com quatro repetições, dispostas no delineamento casualizados em blocos (Quadro 1).

Devido ao intenso ataque de formigas no primeiro ano do plantio ocorrido no bloco quatro, seus tratamentos foram descartados no presente estudo, passando-se a analisar os tratamentos de três blocos.

Quadro 1- Lista dos tratamentos do experimento no Polo Gesseiro do Araripe, Araripina, Pernambuco.

Trat.	Clone	Híbridos de <i>Eucalyptus</i> spp.
01	C49	<i>Eucalyptus tereticornis</i> (cruzamento natural)
02	C80	<i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> (polinização controlada)
03	C315	<i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> (polinização controlada)
04	C101	<i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> (polinização controlada)
05	C78	<i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> (polinização controlada)
06	C156	<i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> x <i>E. pellita</i> (polinização controlada)
07	C39	<i>E. urophylla</i> (cruzamento natural)
08	C27	<i>E. brassiana</i> (cruzamento natural)
09	C51	<i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> (polinização controlada)
10	C158	<i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> (polinização controlada)
11	C41	<i>E. urophylla</i> (cruzamento natural)
12	C31	<i>E. brassiana</i> (cruzamento natural)
13	C25	<i>E. brassiana</i> (cruzamento natural)
14	C33	<i>E. urophylla</i> (cruzamento natural)
15	C11	<i>E. brassiana</i> (cruzamento natural)

Fonte: Santos (2012).

Os clones C80; C315; C101; C78; C51; C158 foram produzidos com materiais originários da região de Laura, no Estado de Queensland na Austrália.

3.5 OBTENÇÃO DOS DADOS

Os dados utilizados neste estudo tinham origem de medições das 45 parcelas permanentes dos 15 clones de *Eucalyptus* spp., todos em primeira rotação.

A altura média obtida em cada parcela e em cada medição foi utilizada para a modelagem. Esse procedimento foi justificado pela ausência de desbaste no povoamento durante todo o período analisado.

A primeira medição foi realizada aos dois meses após o plantio, para verificar a sobrevivência das plantas, e, posteriormente, medições foram feitas a cada seis meses, tendo-se, ao final do experimento, as seguintes medidas 2; 6; 12; 18; 24; 30; 36; 42; 48; 54; 60; 66 ; 72; 78; 84 e 90 meses.

Entretanto, as quatro primeiras medições, aos 2; 6; 12 e 18 meses após o plantio não foram incluídas no banco de dados, pois as plantas ainda estavam

jovens e, conseqüentemente, ainda não havia competição e também ainda estavam sofrendo influência dos tratamentos silviculturais.

Em cada medição foram registrados a altura total e o diâmetro a altura do peito (DAP), de todas as plantas presentes na área útil de cada parcela. As árvores mortas e quebradas não foram computadas. Para medição do DAP, foi usada fita métrica graduada em milímetro, e, para a medição em altura até os cinco metros, foi usada a mira falante graduada em milímetro e, para as alturas acima de cinco metros, foi usado clinómetro digital Haglof HEC.

3.6 ANÁLISE DOS DADOS

Com a finalidade de avaliar possíveis diferenças entre níveis e inclinações das curvas de crescimento entre os quinze clones foram selecionados três modelos encontrados na literatura (Quadro 2).

Esses modelos são linearizáveis, indicados para a aplicação da análise de covariância. O mais significativo, ou seja, o que obteve o mais alto valor de coeficiente de determinação, menor coeficiente de variação e maior valor de F, foi o escolhido para a análise de covariância. Priorizou-se a escolha de modelos com, no máximo, dois coeficientes, com o objetivo de maximizar sua eficiência prática e facilitar a análise.

Quadro 2- Modelos estatísticos selecionados para realizar a análise de covariância no experimento do Polo Gesseiro do Araripe, Araripina, Pernambuco.

Equação	Modelo	Autor
1	$\ln(h_i) = \beta_0 + \beta_1 \ln(t_i) + \varepsilon_i$	Logarítmico
2	$\ln(h_i) = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{t_i}\right) + \varepsilon_i$	Schumacher
3	$\ln(h_i) = \beta_0 + \beta_1 \sqrt{t_i} + \varepsilon_i$	Smaley - Bower

Fonte: Santos (2012)

Em que: \ln = Logaritmo natural; h_i = Altura da i-ésima árvore; β_0 e β_1 = Parâmetros dos modelos (a serem estimados); t_i = idade em meses da i-ésima árvore; ε_i = Erro de estimativa da i-ésima árvore.

3.6.1 Análise de Covariância

A análise de covariância foi realizada usando o software SAS, no modo GLM (General Linear Models), com uso de variável indicadora (dummy), associada à classe clone. O uso da variável indicadora foi indispensável para transformar a característica qualitativa atribuída a cada clone individual, em característica quantitativa, tornando-a passível de análise estatística. Nessa análise, foram observadas as significâncias dos valores da estatística F, a 0,05% de probabilidade, relacionadas com a classe clone, a fim de verificar a hipótese de igualdade de inclinação e nível entre os clones.

3.7 MODELOS MATEMÁTICOS

As curvas de índice de sítio foram classificadas pelo método direto, com base no crescimento em altura dos clones de *Eucalyptus* spp.. No entanto, foram ajustados diversos modelos estatísticos, entre os quais 5 modelos lineares e 5 modelos não lineares para os pares de dados de idade (t) e altura média (h) coletados (quadro 4).

Os modelos foram selecionados na literatura, observando-se aqueles que obtiveram melhores resultados em trabalhos semelhantes, tais como: Tonini (2004); Martins (2007); Cruz (2008); Selle (2009).

O ajuste dos modelos estatísticos, apresentados nos quadros 2 e 3, foram realizados com os softwares MS Excel (2010) e SAS (Statistical Analysis System), versão 9.1.

Os modelos lineares ou linearizáveis foram ajustados pelo método dos mínimos quadrados, enquanto os não lineares pelo procedimento NLIN, com a utilização do algoritmo matemático de Gauss e Newton.

Quadro 3- Modelos lineares e não lineares utilizados no experimento do Polo Gesseiro do Araripe, Araripina , Pernambuco.

Equação	Modelo	Autor	
1	$\ln(h_i) = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{I_i} \right) + \varepsilon_i$	Schumacher	(S ₁)
2	$h_i = I_i^2 / (\beta_0 + \beta_1(I_i^2) + \beta_2(I_i^2)) + \varepsilon_i$	Prodan	(Pr)
3	$\ln(h_i) = \beta_0 + \beta_1 \sqrt{I_i} + \varepsilon_i$	Logarítmico	(Lo)
4	$h_i = \beta_0 + \beta_1(I_i) - \beta_2(I_i^3) + \varepsilon_i$	Polinomial	(P)
5	$h_i = \beta_0 + \beta_1 \ln(I_i) + \varepsilon_i$	Exponencial	(e)
6	$h_i = \beta_0 \cdot \exp^{(\beta_1/I_i)} + \varepsilon_i$	Schumacher	(S ₂)
7	$h_i = \beta_0 (1 - \exp^{(\beta_1(I_i))})^{\beta_2} + \varepsilon_i$	Chapman-Richards	(CR)
8	$h_i = \beta_0 \cdot \exp^{\beta_1 \cdot \beta_2 (I_i)} + \varepsilon_i$	Silva – Bailey	(SB)
9	$h_i = \beta_0 (1 - \exp^{-\beta_1(I_i)^{\beta_2}}) + \varepsilon_i$	Weibull	(W)
10	$h_i = \beta_0 (I_i / (\beta_1 + I_i))^{\beta_2} + \varepsilon_i$	Levacovic II	(L)

Fonte: Santos (2012).

Em que: ln = Logaritmo natural; h_i = Altura média da i-ésima árvore; β_0 , β_1 e β_2 = Parâmetros dos modelos (a serem estimados); t_i = idade em meses da i-ésima árvore; ε_i = Erro de estimativa da i-ésima árvore.

3.8 SELEÇÃO DAS EQUAÇÕES DE REGRESSÃO

Com a finalidade de selecionar a melhor equação, analisou-se o ajuste e precisão de cada equação, comparando-as pela observação dos critérios estatísticos determinados por :

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

O Coeficiente de Determinação ajustado (R_{aj}^2) para o número de coeficientes da equação, foi obtido pela expressão:

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

Em que: R^2 = coeficiente de determinação; K= número de parâmetros do modelo; N= número de observações.

Seu valor está no intervalo de 0 a 1e quanto maior o valor do coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), mais explicativo é o modelo.

3.8.2 Coeficiente de Variação (CV%)

Outro critério usado na seleção de modelos matemáticos foi o Coeficiente de Variação em percentagem (CV%), que medem a dispersão relativa entre os valores observados e estimados pela regressão. Sendo mais acurada a equação quanto menor for o coeficiente de variação.

Coeficiente de Variação (CV%) é obtido por meio da fórmula:

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

Sendo: S_{yx} = Desvio padrão; $CV\%$ = coeficiente de variação em percentagem; \bar{y} = média aritmética da variável dependente.

3.8.3 Distribuição gráfica dos resíduos

Na seleção foi considerado também a distribuição gráfica dos resíduos, sendo selecionado o modelo que apresentou a menor variação de resíduos, sem apresentar tendências de superestimar ou subestimar os valores.

Os resíduos foram obtidos pela seguinte expressão:

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

Sendo: E_i = resíduo da i-ésima observação; Y_i = variável dependente observada; \hat{Y}_i = variável dependente estimada pela regressão.

3.9 CONSTRUÇÃO DAS CURVAS DE ÍNDICE DE SÍTIO

Depois da análise de covariância, foram construídas curvas de índice de sítio com o modelo selecionado com o emprego do método da curva guia.

Entretanto, por se tratar de uma área experimental, em que não existe praticamente diferenças de qualidade de sítio, construiu-se a curva guia para o local e fez-se simulações para outras condições de locais superiores e inferiores em termos de qualidade de local.

A idade de referência foi fixada aos seis anos, por ser esta a idade que culminou o incremento médio anual (IMA) da maioria dos clones.

O intervalo entre os índices de sítio foram definidos como sendo de 2 metros de altura. Na idade de referência, as curvas de índice de sítio devem cobrir toda a variação entre o menor e o maior crescimento em altura observado em campo.

Para a definição do número de índice de sítio os pares de dados altura/ idade, medidos nas parcelas, foram plotados e sobre ela plotadas as curvas de índice de sítio, em número suficiente para cobrir todos esses pontos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DOS DADOS

Em decorrência da interação genótipo e ambiente o experimento apresentou variação na sobrevivência e de crescimento conforme foi resumido na tabela 1. Nesta ficou caracterizado que as alturas dos clones variou de 3,0 a 21,0 metros, entre 24 e 90 meses. O coeficiente de variação variou de 16,5 para o clone 12, a 24,8, para o clone 4. A sobrevivência variou de 53,3 %, para o clone doze, a 100 %, para o clone quatro. A maior altura média foi do clone onze, 13,5 m e a menor, do clone 3, 10,09 m.

Tabela 1- Alturas mínimas, médias e máximas, com respectivos desvios padrões, porcentagem de mortalidade dos 15 clones de *Eucalyptus* em Araripina, Pernambuco.

Clone	Total de Plantas	n	Mín.	Méd.	Máx.	CV%	Sob. %
1	64	768	4,8	11,9	18,5	19,3	85,3
2	73	876	5,5	11,1	18,4	20,7	97,3
3	68	816	4,7	10,9	17,3	20,2	90,7
4	75	900	3,0	11,7	20,0	24,8	100,0
5	62	744	3,6	12,7	17,5	20,5	82,7
6	71	852	6,0	12,1	16,7	18,1	94,7
7	72	864	6,8	12,1	19,7	21,9	96,0
8	67	804	5,8	11,9	17,2	19,3	89,3
9	72	864	6,5	12,9	18,6	20,9	96,0
10	73	876	6,0	12,5	21,0	20,0	97,3
11	63	756	7,0	13,5	19,8	18,5	84,0
12	40	480	8,0	11,5	16,8	16,5	53,3
13	67	804	8,0	12,4	20,0	19,4	89,3
14	70	840	6,8	12,2	17,4	18,0	93,3
15	47	564	7,2	13,4	20,7	20,1	62,7

Fonte: Santos (2012).

Em que: n= número de observações; Mín= valor mínimo; Méd= valor médio; Máx= valor máximo; CV%= Coeficiente de variação em porcentagem; Sob.%= porcentagem de sobrevivência.

Machado (1979) observou que, nos primeiros anos após o plantio, a mortalidade foi maior nos locais de baixa produtividade. Conforme esse autor, em anos posteriores ao plantio, há maior mortalidade em solos com alta capacidade produtiva por causa da intensificação da competição.

4.2 MELHOR MODELO PARA A ANÁLISE DE COVARIÂNCIA

Os coeficientes dos três modelos testados, bem como suas respectivas medidas de precisão e de ajuste, foram apresentados na Tabela 2. Constatam-se que os valores dos coeficientes de determinação ajustados (R_{aj}^2) e também o coeficiente de variação (CV%) e o valor de F foram superiores para o modelo logaritmo em relação aos modelos de Schumacher e Smaley – Bower.

Em todos os clones pesquisados o modelo logarítmico teve coeficiente de determinação ajustado (R_{aj}^2) maior que 0,90, indicando que mais de 90% da variação total da variável dependente (h) foi explicada pela regressão, bem como apresentou os menores valores de (CV%).

Por estas razões, o modelo 1 foi o selecionado para se fazer a análise de covariância.

Tabela 2- Coeficientes e estatísticas de ajuste para os três modelos selecionados para a análise de covariância no experimento do Polo Gesseiro do Araripe, Araripina, Pernambuco.

Equação	Clone	Modelo	Coeficientes		Estatísticas		
			β_0	β_1	R ² aj.%	CV%	F
1		Logaritmo	-1,35032	0,96030	91,94	14,72	11669,60
2	1	Schumacker	2,50072	-7,92944	83,96	20,76	5356,74
3		Smaley-Bower	-0,38671	0,37644	75,98	25,40	3237,49
1		Logaritmo	-0,84258	0,81557	92,28	12,17	13945,40
2	2	Schumacker	2,43040	-6,76975	85,16	16,88	6697,57
3		Smaley-Bower	-0,02982	0,32061	76,69	21,15	3841,06
1		Logaritmo	-0,86103	0,81488	91,92	12,60	12367,30
2	3	Schumacker	2,41158	-6,80033	85,74	16,73	6538,43
3		Smaley-Bower	-0,04682	0,32000	76,23	21,61	3487,49
1		Logaritmo	-1,15035	0,90182	91,61	14,14	13097,60
2	4	Schumacker	2,46337	-7,40398	82,71	20,30	5736,43
3		Smaley-Bower	-0,27064	0,35753	77,45	23,19	4118,15
1		Logaritmo	-1,06941	0,90378	90,32	14,68	9249,91
2	5	Schumacker	2,55619	-7,48126	82,89	19,52	4803,42
3		Smaley-Bower	-0,15984	0,35386	74,47	23,85	2891,14
1		Logaritmo	-1,24660	0,93623	93,76	12,37	17064,80
2	6	Schumacker	2,50593	-7,70034	84,96	19,21	6410,45
3		Smaley-Bower	-0,31679	0,36855	78,14	23,16	4058,84
1		Logaritmo	-1,13132	0,92211	92,95	12,59	15178,10
2	7	Schumacker	2,56753	-7,62870	85,21	18,24	6633,84
3		Smaley-Bower	-0,21766	0,36332	77,61	22,44	3990,74

Continuação...

1		Logaritmo	-1,34048	0,95641	93,55	13,02	15543,80
2	8	Schumacker	2,49170	-7,84764	84,36	20,27	5779,11
3		Smaley-Bower	-0,39016	0,37642	77,94	24,08	3784,16
1		Logaritmo	-0,91065	0,87174	92,23	12,27	13665,80
2	9	Schumacker	2,59536	-7,35182	87,87	15,33	8336,44
3		Smaley-Bower	-0,01971	0,33915	75,08	21,98	3468,71
1		Logaritmo	-1,29716	0,95909	92,99	13,29	15493,20
2	10	Schumacker	2,54920	-7,92180	84,98	19,47	6601,79
3		Smaley-Bower	-0,33859	0,37658	77,11	24,03	3931,61
1		Logaritmo	-0,81951	0,86094	90,70	13,04	9822,19
2	11	Schumacker	2,64656	-7,31403	87,68	15,01	7169,37
3		Smaley-Bower	0,06428	0,33433	73,56	21,99	2802,22
1		Logaritmo	-1,06692	0,88370	91,66	13,68	7023,84
2	12	Schumacker	2,48671	-7,44560	87,15	16,97	4336,29
3		Smaley-Bower	-0,15904	0,34305	74,28	24,02	1846,00
1		Logaritmo	-1,25328	0,94614	91,82	14,27	12023,00
2	13	Schumacker	2,54560	-7,88292	85,37	19,08	6252,14
3		Smaley-Bower	-0,29448	0,36940	75,27	24,81	3261,32
1		Logaritmo	-0,71947	0,81158	90,82	12,62	11067,60
2	14	Schumacker	2,54886	-6,90937	88,17	14,32	8340,31
3		Smaley-Bower	0,11242	0,31536	73,75	21,34	3144,27
1		Logaritmo	-1,37186	0,99239	93,46	13,00	10728,10
2	15	Schumacker	2,60219	-8,10830	83,56	20,61	3817,53
3		Smaley-Bower	-0,38742	0,39083	77,95	23,87	2656,23

Fonte: Santos (2012).

Em que: b_0, b_1 = são Coeficientes da equação; R_{aj}^2 % = coeficiente de determinação ajustado em porcentagem; $(CV\%)$ = coeficiente de variação em porcentagem; F = valor de F da análise de variância.

4.2.1 Análise do desenvolvimento das curvas de crescimento em altura dos clones

A existência de intercepto comum é indesejável, pois, refletiria pouca ou nenhuma variação do sítio, neste caso a interação genótipo verso ambiente e, devemos nos preocupar com a inclinação. A diferença de níveis vai ser coberta com a criação dos feixes de índice de sítio.

Na análise de covariância (Tabela 3), ao considerar um nível de significância de erro de 5%, foi detectada a estratificação dos dados. Utilizando o clone 15 (quinze) como exemplo, observou-se que este não se diferenciou significativamente em inclinação da linha de regressão $\ln(t)*D5$ (Prob. =0,4879) e também na linha de

regressão, $\ln(t)*D7$ (Prob. = 0,3245), demonstrando que as regressões tinham inclinações semelhantes. Por isso, esses três clones (cinco; sete e quinze) passaram a ser fazer parte de um mesmo grupo.

Como pode ser observado no apêndice L, empregando o clone oito como referência, os valores de F a 2,53 para a fonte de variação $\ln(t)*D6$, indicaram a validade da hipótese de igualdade de inclinação para os clones seis e oito e, como consequência, esses dois clones passaram a formar um mesmo grupo.

No apêndice N, foi possível constatar a não diferença para a curva de crescimento em altura para os clones dois e quatro, como observado pelo valor e significância de F a 2,32 para a inclinação $\ln(t)*D2$, tornando-os um só grupo.

Desta maneira, para o conjunto de clones de *Eucalyptus* spp. testados em Araripina-PE, foi necessária a formação de onze grupos, citados a seguir: O grupo um, ficou formado pelos clones 5 (cinco), 7 (sete) e 15 (quinze); o grupo dois, pelo clone 14 (quatorze); o grupo três, pelo clone 13 (treze); o grupo 4, pelo clone 12 (doze); o grupo cinco, pelo clone 11 (onze); o grupo 6, pelo clone 10 (dez); o grupo sete, pelo clone 9 (nove); o grupo 8, pelos clones 6 (seis) e 8 (oito); o grupo 9, pelos clones 2 (dois) e 4 (quatro); o grupo dez, pelo clone 3 (três) e o grupo 11, pelo clone 1(um).

A mesma metodologia também foi usada por Tonini (2006). Na construção de curvas de índice de sítio para povoamentos clonais de *Eucalyptus saligna* Smith para a Depressão Central e Serra do Sudeste, Rio Grande do Sul e por Berger (2000), ao estudar o efeito de dois níveis de adubação sobre três espaçamentos, no clone 4013, na região de Guaíba-RS. A autora também encontrou diferenças significativas para inclinação e níveis na curva de crescimento em altura média. Esses resultados se devem à ocorrência de interação genótipo x ambiente entre clones, de modo que certos clones se adaptam melhor a determinados ambientes, apresentando aceleração de crescimento diferentes entre os locais.

Tabela 3- Análise de covariância para testar diferença de nível e inclinação entre os 15 clones no experimento do Polo Gesseiro do Araripe, Araripina, Pernambuco.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob.>F
Modelo	15	13431,04	895,40	11820,20	<0,0001
Erro	15728	1191,42	0,07575		
Total	15743	14622,46			

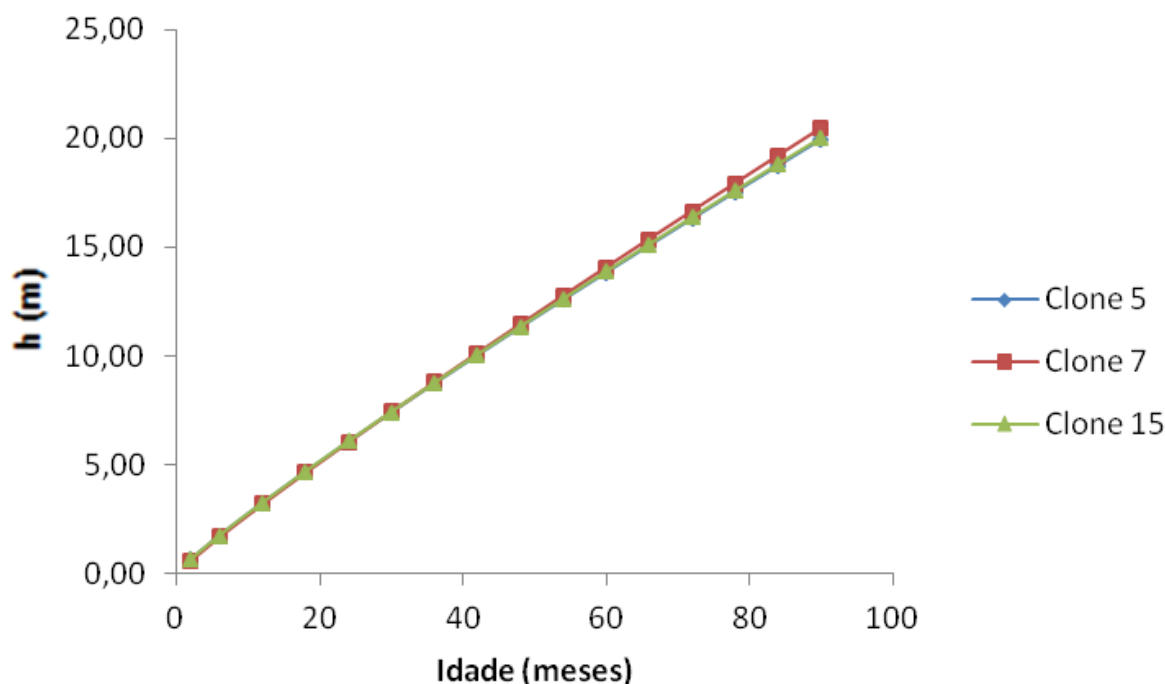
Continuação...

Ln(t)	1	13382,9	13382,9	176668	<0,0001
Ln(t)*D1	1	1,9364	1,9364	17,08	<0,0001
Ln(t)*D2	1	6,7517	6,7517	89,13	<0,0001
Ln(t)*D3	1	11,6930	11,6930	154,36	<0,0001
Ln(t)*D4	1	6,7555	6,7555	89,18	<0,0001
Ln(t)*D5	1	0,0365	0,0365	0,48	0,4879
Ln(t)*D6	1	2,7354	2,7354	36,11	<0,0001
Ln(t)*D7	1	0,0736	0,0736	0,97	0,3245
Ln(t)*D8	1	5,7335	5,7335	75,69	<0,0001
Ln(t)*D9	1	1,0502	1,0502	13,86	<0,0002
Ln(t)*D10	1	0,6996	0,6996	9,24	0,0024
Ln(t)*D11	1	7,4354	7,4354	98,15	<0,0001
Ln(t)*D12	1	2,6026	2,6026	34,36	<0,0001
Ln(t)*D13	1	0,9217	0,9217	12,17	0,0005
Ln(t)*D14	1	0,3498	0,3498	4,62	0,0317
Ln(t)*D15	0	0,0000	-	-	-

Fonte: Santos(2012).

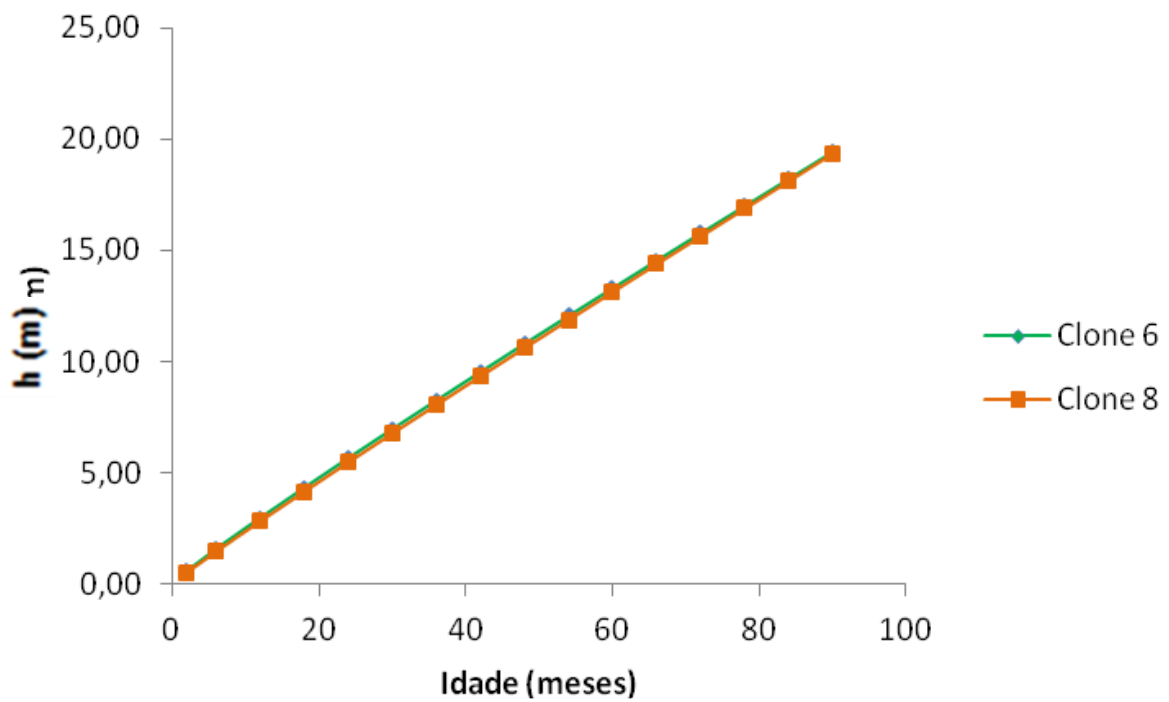
Em que: FV=fonte de variação; GL= graus de liberdade; SQ= soma de quadrados; QM= quadrado médio; ln= Logaritmo natural, I = idade em meses F= valor de F; Prob.>F= probabilidade de significância para o valor de F; D= variável Dummy para clones de 1 a 15.

Nas Figuras 3; 4 e 5, observa-se as curvas de crescimento em altura em função da idade, ajustadas pela equação logarítmica (quadro 2), para comprovar a mesma tendência de crescimento em altura dos clones que foram agrupados por meio da análise de covariância.



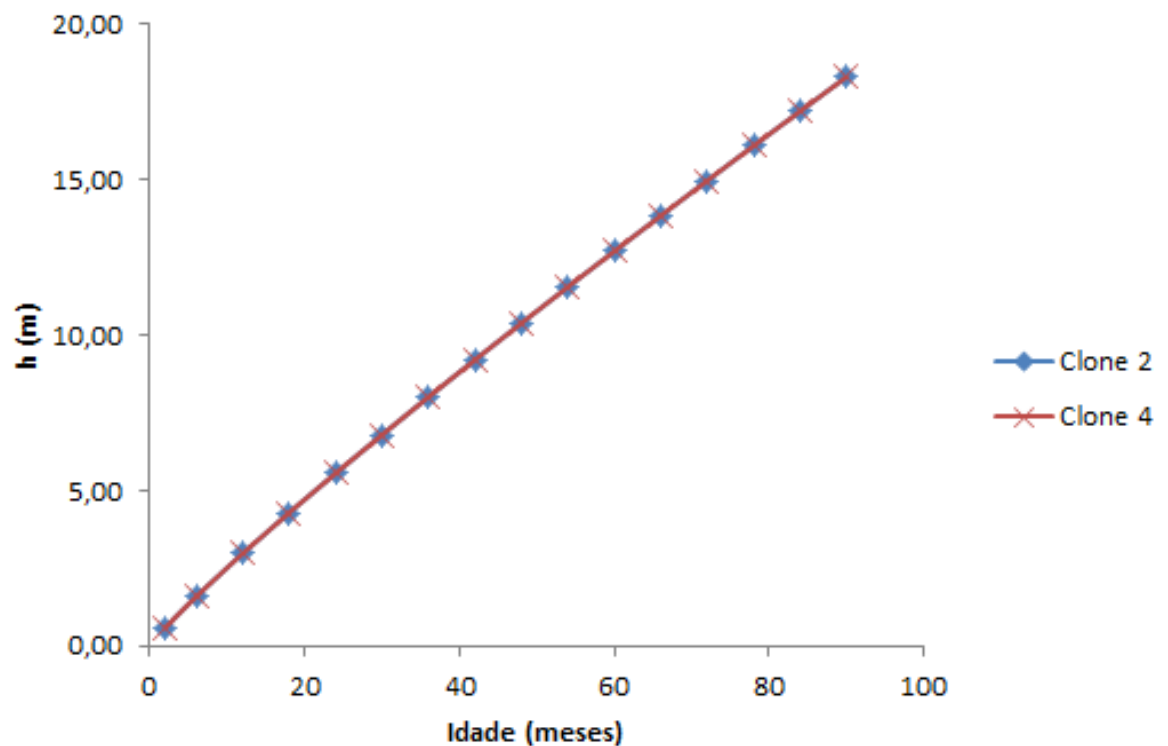
Fonte: Santos (2012).

Figura 3- Tendência de crescimento em altura dos clones 5, 7 e 15 unidos pela análise covariância.



Fonte: Santos (2012).

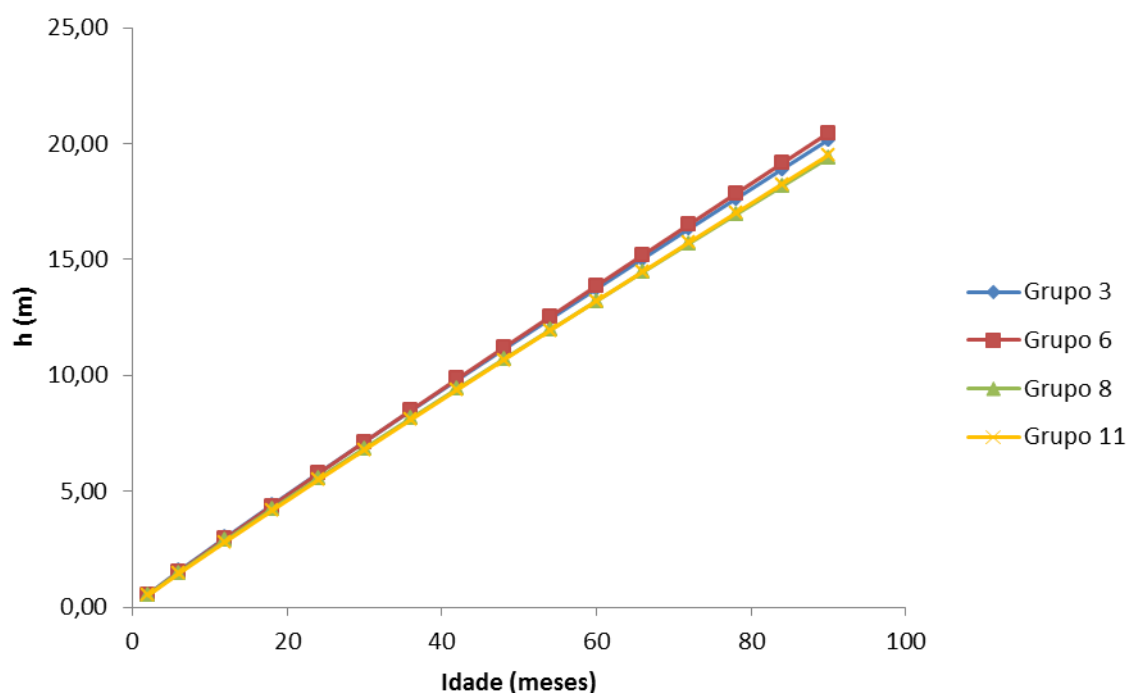
Figura 4- Tendência de crescimento em altura dos clones 6 e 8 unidos pela análise covariância.



Fonte: Santos (2012).

Figura 5- Tendência de crescimento em altura dos clones 2 e 4 unidos pela análise covariância.

Para melhor visualização das diferenças em níveis e inclinações, para os onze grupos estratificados por meio da análise de covariância, os valores destes foram ajustados usando a equação logarítmica presente no (quadro 2) e foram representados os grupos que apresentaram a mesma tendência graficamente (Figura 6). Este mesmo procedimento foi usado por Schereen et al., (1999), ao estudar o crescimento em altura dominante em função da idade em diferentes locais, para *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., em Canela-RS.



Fonte: Santos (2012).

Figura 6- Tendência de crescimento em altura para os Grupos 1, 3, 5 e 9.

As tendências de crescimento dos grupos 3 e 6 foram bem semelhantes, havendo praticamente sobreposição de suas curvas de crescimento. Assim, estes grupos passaram a formar um só grupo. Isso também pode ser constatado entre os grupos 8 e 11, tornando-os também um só grupo. Com esse procedimento, passou-se de onze para nove grupos.

Tonini (2001), estudando o crescimento em altura de *Pinus elliottii* Engelm. no Rio Grande do Sul, utilizou o teste de Tukey para tentar agrupar árvores com a mesma tendência de crescimento, para estabelecimento de curvas específicas para diferentes posições de relevo. Porém, o agrupamento não foi consistente, por incluir árvores em mais de um grupo. A análise gráfica indicou cruzamento das curvas de crescimento de árvores não significativas pelo teste de Tukey, que seriam paralelas.

4.3 SELEÇÃO DO MODELO

Os coeficientes de todas as equações ajustadas e suas estatísticas estão no apêndice Q. E na Tabela 4 encontram-se os coeficientes das melhores equações testadas, bem como suas respectivas medidas de precisão e de ajuste, para descrever a curva de crescimento em altura em função da idade, para cada grupo dos clones.

Tabela 4- Ajuste das melhores equações testadas para descrever a altura em função da idade, para nove grupos de clones de *Eucalyptus spp.* testados no Polo Gesseiro do Araripe, em Araripina, Pernambuco.

Gr.	Eq.	Coeficientes			Estatísticas		
		b_0	b_1	b_2	R_{aj}^2 %	CV%	F
1	Pr	7,2454	1,6287	0,0438	93,7	12,0	81947,8
	S ₂	19,1786	-19,7999	-	93,1	12,6	111454,0
	CR	17,7158	0,0257	1,0488	93,3	12,4	76668,5
	L	22,0649	18,8056	1,7396	93,7	12,0	81505,5
2	Pr	3,1037	1,5458	0,0506	95,7	8,9	55017,1
	S ₂	16,8091	-15,5610	-	94,6	9,9	66134,9
	W	16,4895	-0,03868	0,9012	95,3	9,4	50137,5
	L	19,4329	20,7628	1,3629	95,6	9,0	54341,1
3	Pr	8,0284	1,6021	0,0466	95,7	9,8	95016,9
	S ₂	18,3715	-19,3486	-	95,2	10,3	127229,0
	W	17,1409	-0,0241	1,0079	95,2	10,3	84887,0
	L	20,7167	15,5711	1,9314	95,7	9,8	94453,2
4	Pr	7,7276	1,3619	0,0570	97,1	7,5	45374,7
	S ₂	15,9725	-16,0600	-	96,9	7,7	63688,9
	CR	14,4064	0,0327	1,0441	96,3	8,4	35683,5
	L	17,0439	7,9632	2,6678	97,1	7,4	45771,7
5	Pr	4,7149	1,3391	0,0462	93,8	11,1	32204,7
	S ₂	18,8738	-16,4238	-	93,1	11,7	43667,7
	CR	17,4379	0,0289	0,9788	93,2	11,6	29656,0
	L	21,1459	15,3643	1,7033	93,7	11,2	32033,7
6	Pr	6,4398	1,3312	0,0492	96,7	8,1	70358,1
	S ₂	18,0986	-16,7710	-	96,2	8,6	91755,3
	CR	16,2607	0,0322	1,0640	96,2	8,6	61506,5
	L	19,9035	12,4401	1,9920	96,7	8,1	70137,8
7	Pr	105967	1,516	0,0492	96,6	8,8	16971,6
	S ₂	17,8592	-19,9808	-	96,2	9,3	227949,0
	W	15,9811	-0,0208	1,0630	96,1	9,4	14926,4
	L	19,8135	13,3152	2,1951	96,6	8,8	169763

Continuação...

8	Pr	3,9934	2,0619	0,0469	90,2	15,0	42041,4
	S ₂	16,8984	-193847	-	90,1	15,1	55991,8
	CR	16,4746	0,0214	0,9369	89,8	15,2	40936,2
	L	20,9058	32,3787	1,2570	90,1	15,1	41864,4
9	Pr	3,832,7	1,9212	0,0535	92,6	10,4	28885,3
	S ₂	15,4671	-17,3086	-	91,5	13,1	37384,1
	W	15,0844	-0,0327	0,9278	92,3	12,5	27753,2
	L	18,3334	25,2541	1,3146	92,6	12,2	28738,6

Fonte: Santos (2012).

Em que: Eq = Equação; Gr = Grupo; b_0, b_1, b_2 = coeficientes da equação; R_{aj}^2 % = Coeficiente de determinação ajustado em porcentagem; CV% = Coeficiente de variação em porcentagem; e F= valor de f calculado; Pr= Prodan; S₂= Schumacher; CR= Chapman Richards; W= Weibull; L= Levacovic II.

Ao analisar os resultados da Tabela 8, constatou-se que os valores das equações, para todos os grupos formados, apresentam resultados estatísticos de ajuste e precisão muito semelhantes. Os coeficientes de determinação ajustado (R_{aj}^2 %) para todos os modelos nos diferentes grupos foram bem satisfatórios, com valores superiores a 90%, ou seja, mais de 90% da variação da variável dependente foi explicada pela regressão.

No entanto, verificou-se que o modelo 6, de Schumacher, descreve a variação da altura utilizando apenas dois coeficientes, enquanto o restante explica esta variação utilizando três coeficientes, o que pode ser considerada uma vantagem do modelo 6 em relação aos demais. Martins (2007), ajustando e comparando modelos para curvas de índice de sítio para *Leucena leucocephala* (Lam) de Wit, no agreste de Pernambuco, afirmou que o modelo de Schumacher, por ter menor número de parâmetros e por ser freqüentemente utilizado na Ciência Florestal, mereceu especial destaque em trabalhos como este.

Isto pode-se confirmar a razão da utilização do modelo de Schumacher ao longo do tempo, na construção de curvas de índice de sítio para várias espécies florestais como em Cunha Neto et al. (1996), Tewari e Kumar (2002), e Monteiro e Kanninen (2003).

Os valores encontrados nesta pesquisa são similares aos obtidos por Crechi et al., (2011), que testou modelos para curva de índice de sítio para *Eucalyptus grandis* na Mesopotamia, Argentina. Contudo, foram bem superiores aos resultados encontrados por Cunha Neto (1996) na construção de curvas de índice de sítio para

Eucalyptus grandis e *E. urophylla*, em Luiz Antônio–SP, que alcançou o maior (R_{aj}^2 %) de 83%, para o modelo de Chapman Richards.

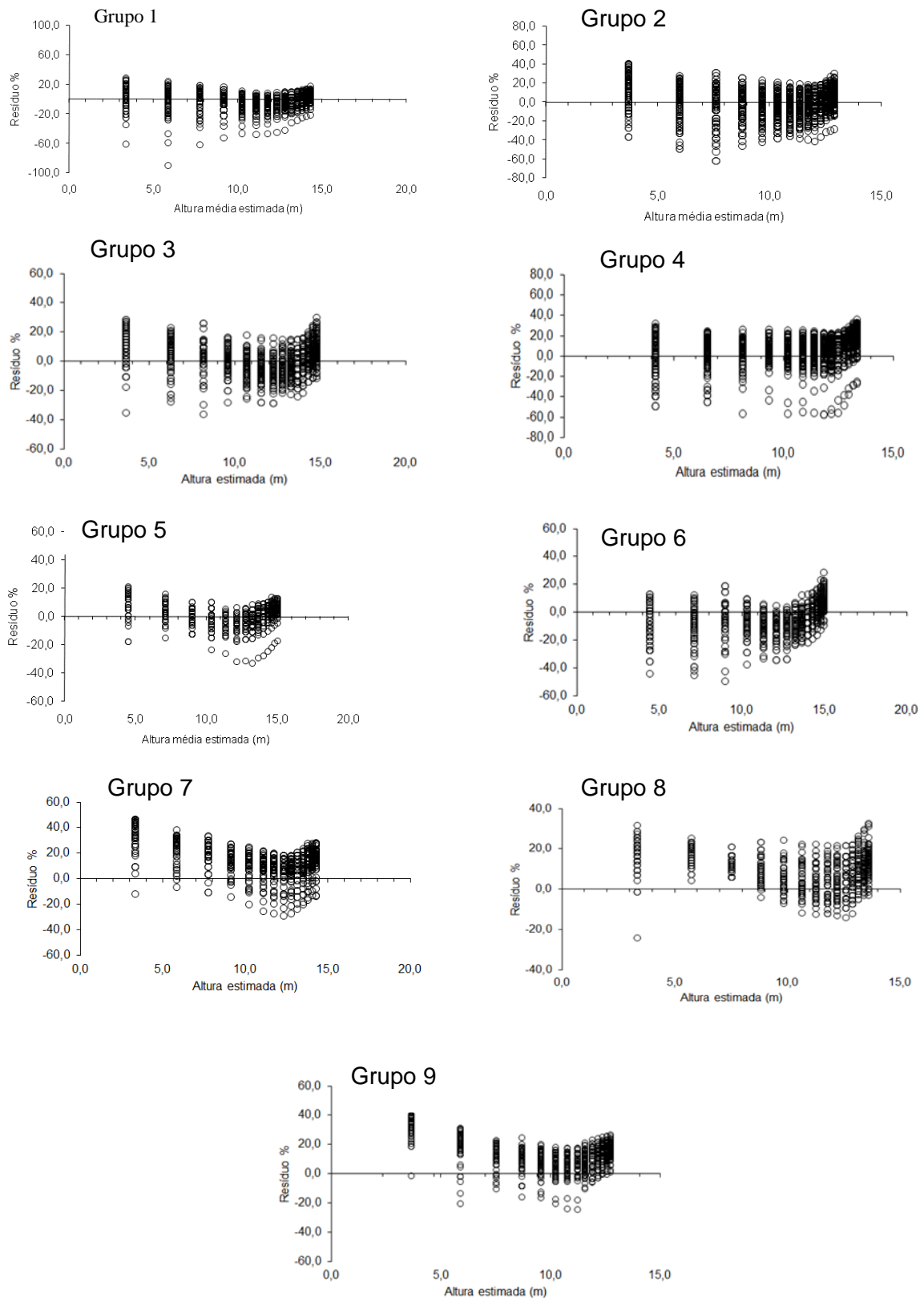
O modelo de 2, de Prodan, foi o que alcançou maior (R_{aj}^2 %) e maior coeficiente de variação (CV%), mas esta diferença foi mínima em relação aos demais. Os modelos não lineares foram mais eficientes que os lineares, com exceção do modelo de Prodan, ou seja, conseguiram se ajustar melhor ao conjunto de dados.

Por apresentar valores de (R_{aj}^2 %) e (CV %) satisfatórios, principalmente por sua superioridade nas distribuições dos resíduos nos diferentes grupos (Figuras 7), o modelo de Schumacher foi selecionado para representar a curva altura média/idade na presente pesquisa. No entanto, isso não invalida o uso dos modelos de Prodan, Chapman – Richards, Weibull e Levacovic II, conforme observado na Tabela 4 e na distribuição dos resíduos, já que todos se ajustaram bem aos dados.

Andenmatten e Letourneau (2000) utilizaram o modelo de Schumacher tomando como idade base 20 anos, em que o modelo de índice de sítio apresentou padrões semelhantes aos da literatura, com erros abaixo de 0,10 cm. Teshome e Petty (2000), no estudo de equações de índice de sítio para povoamentos de *Cupressus lusitanica* na floresta de Munessa, Etiópia, escolheram várias equações lineares e não-lineares para determinação da curva-guia escolhendo o modelo de Schumacher como o melhor no ajuste dos dados de campo.

Todavia, um dos mais importantes elementos para a avaliação de um modelo matemático é a visualização dos seus resíduos. A construção de curvas de índice de sítio, especialmente, as curvas anamórficas, dependem fundamentalmente da curva média e distorções nessas podem ser identificadas com facilidade ao observar-se a distribuição gráfica de resíduos. De acordo com Draper e Smith (1966), nenhuma equação estimativa deve ser utilizada antes de se verificar a análise gráfica de resíduos, mesmo que os índices de ajuste (R_{aj}^2 %) e de precisão (CV%) sejam avaliados suficientes.

Em relação à análise gráfica dos resíduos, os modelos 2, 7, 9 e 10, como pode ser visualizados nos apêndices, nas Figuras 17, 18 e 19, apresentaram maior tendenciosidade comparadas ao modelo 6 (Figura 7).



Fonte: SANTOS 2012.

Figura 7- Gráficos de resíduos (%) em função da altura estimada, para o modelo de Schumacher testado em nove grupos de clones de *Eucalyptus* spp. cultivados em Araripina, Pernambuco.

O modelo 6 apresenta clara tendência de superestimar e subestimar as alturas na idade de um ano, os o mesmo ocorreu nos demais modelos, como pode ser observado em apêndice, nas Figuras 17, 18 e 19.

No entanto, todos os modelos tiveram boa distribuição dos resíduos nas maiores idades, com exceção para os grupos 1, 2, 3 e 4, em que tiveram tendenciosidade de subestimar em todas as alturas .

Este fato ocorreu nos grupos que tiveram mais de um clone, ou seja, os que foram agrupados pela análise de covariância. Esta implicação pode ter ocorrido pelo fato desses grupos terem maior tamanho de amostragem, o que pode ter influenciando na distribuição dos resíduos.

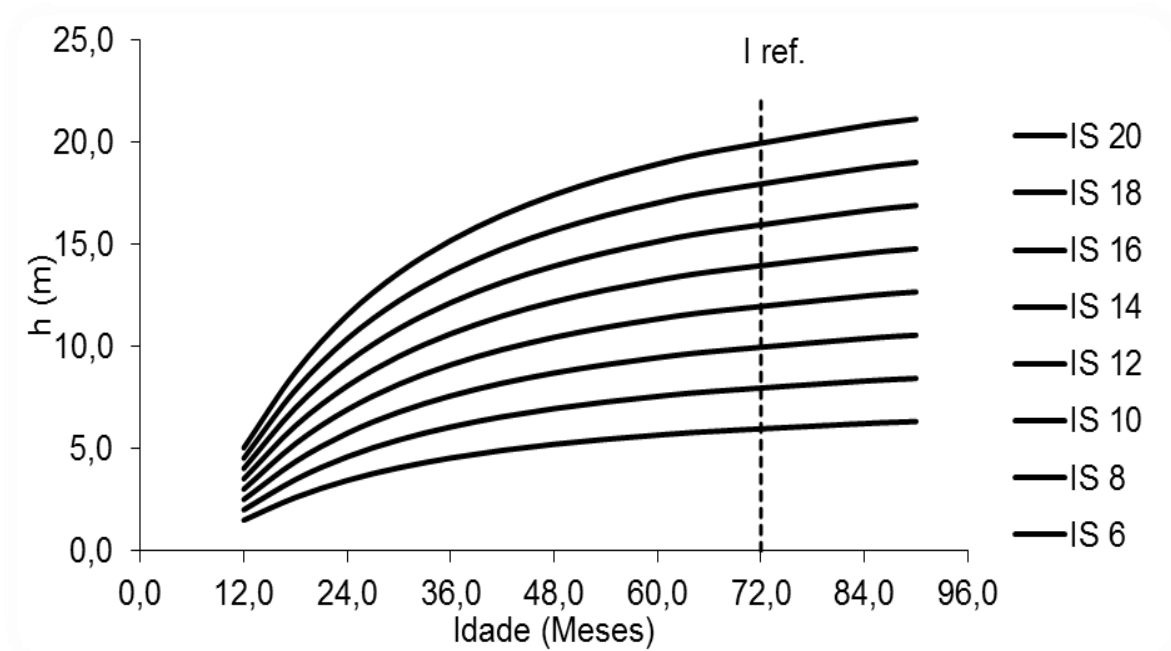
5 CONFECÇÃO DAS CURVAS DE ÍNDICE DE SÍTIO.

Uma vez que a análise de covariância indicou a ocorrência de distintos padrões de crescimento entre os clones testados em Araripina - PE, tornou-se necessário determinar o número de curvas de índice de sítio necessárias para representar os resultados de crescimento em altura. As diferenças no padrão de crescimento em altura indicaram a necessidade de 9 sistemas de curvas de índice de sítio.

Essas curvas de índice de sítio foram definidas reajustando-se a função de Schumacher. Após a construção das curvas guias para os diferentes grupos, foram elaboradas as demais curvas, do tipo anamórficas, conforme observadas nas figuras de 8 a 15.

Para a definição do número de curvas anamórficas necessárias para cobrir a amplitude de alturas observadas no sítio, os dados levantados na população foram plotados sobre as curvas índice elaboradas. A delimitação foi feita para que todos os dados plotados fossem cobertos por curvas índices.

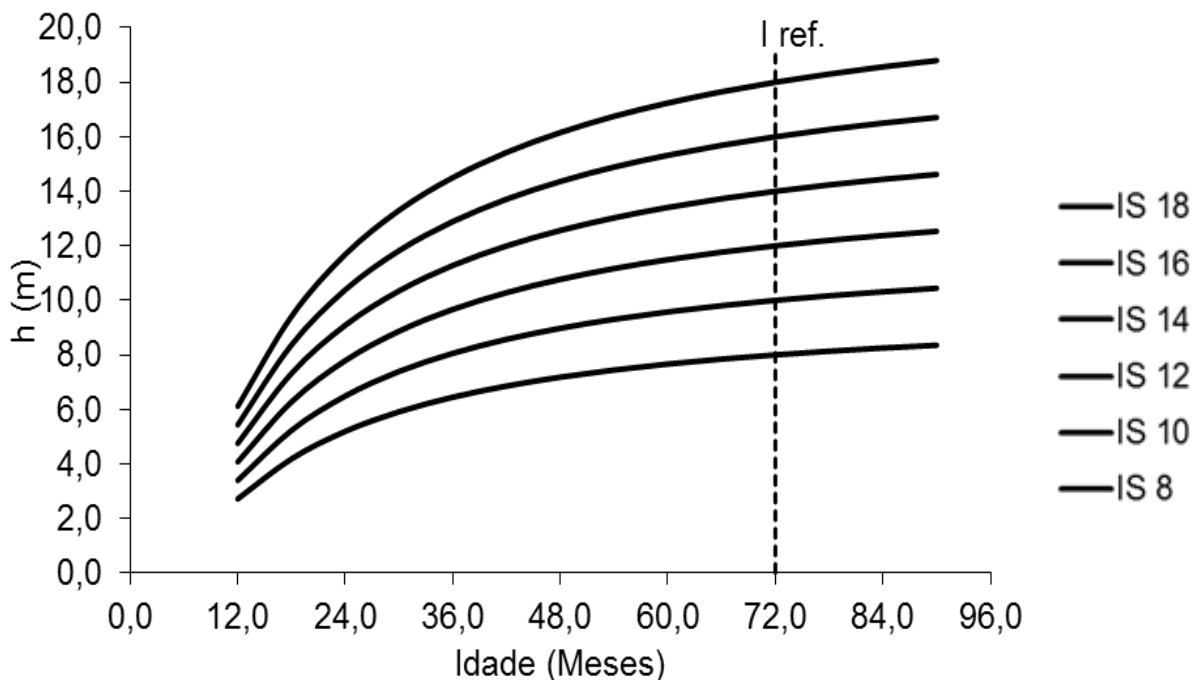
Para os nove grupos de clones, a altura variou de 6 a 21 metros entre os índices. Para abranger toda a variação observada em altura na idade de referência de 72 meses, nas figuras 9, 10, 13, 14, 15 e 16 foram necessárias seis curvas, com intervalo de 2 metros. Para as figuras 8 e 11, foram necessárias oito curvas, com o mesmo intervalo entre as curvas, na mesma idade de referência. Para a figura 12, foram usadas cinco curvas.



Fonte: Santos (2012).

Figura 8- Curvas de índice de sítio para o grupo 1, utilizando a equação de Schumacher, em experimento de clones de *Eucalyptus* spp. no Polo Gesseiro do Araripe, Araripina, Pernambuco.

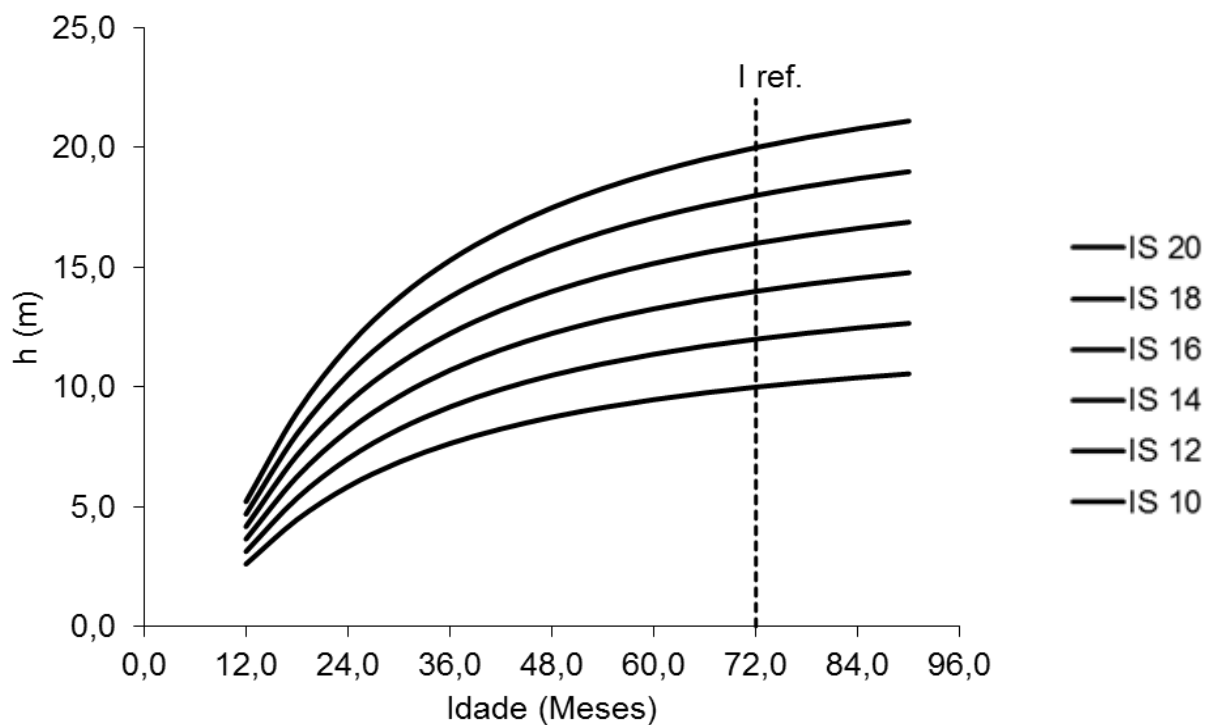
Em que: I ref.= Idade de referência; IS= Índice de sítio.



Fonte: Santos (2012).

Figura 9- Curvas de índice de sítio, utilizando a equação de Schumacher, em experimento de clones *Eucalyptus* spp. no Polo Gesseiro do Araripe, Araripina, Pernambuco.

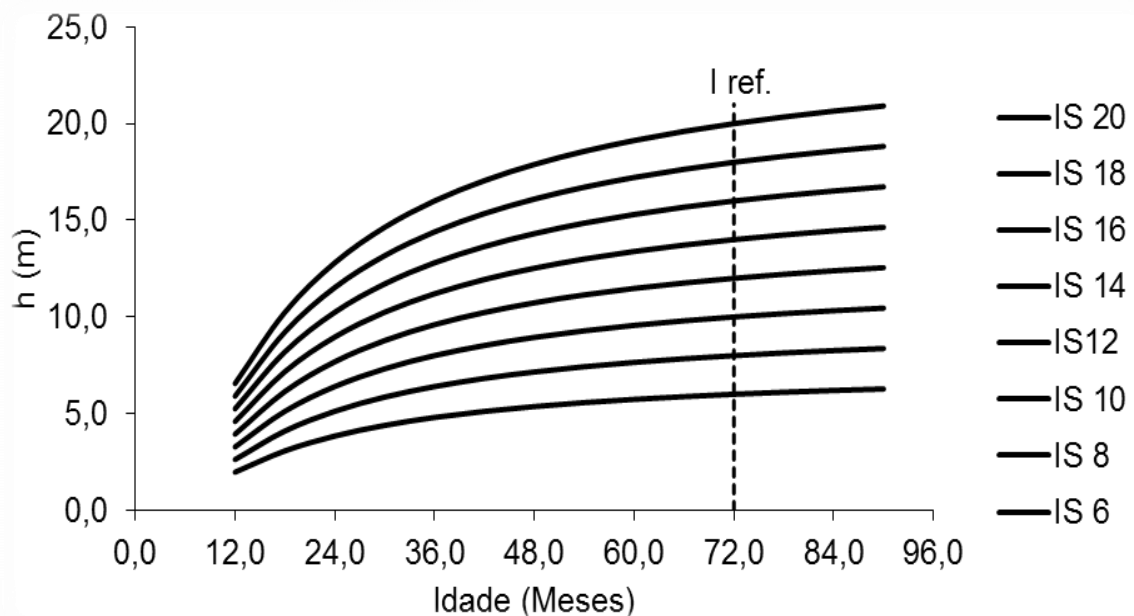
Em que: I ref.= Idade de referência; IS= Índice de sítio.



Fonte: Santos (2012).

Figura 10- Curvas de índice de sítio para o grupo 3, utilizando a equação de Schumacher, em experimento de clones de *Eucalyptus* spp. no Polo Gesseiro do Araripe, Araripina, Pernambuco.

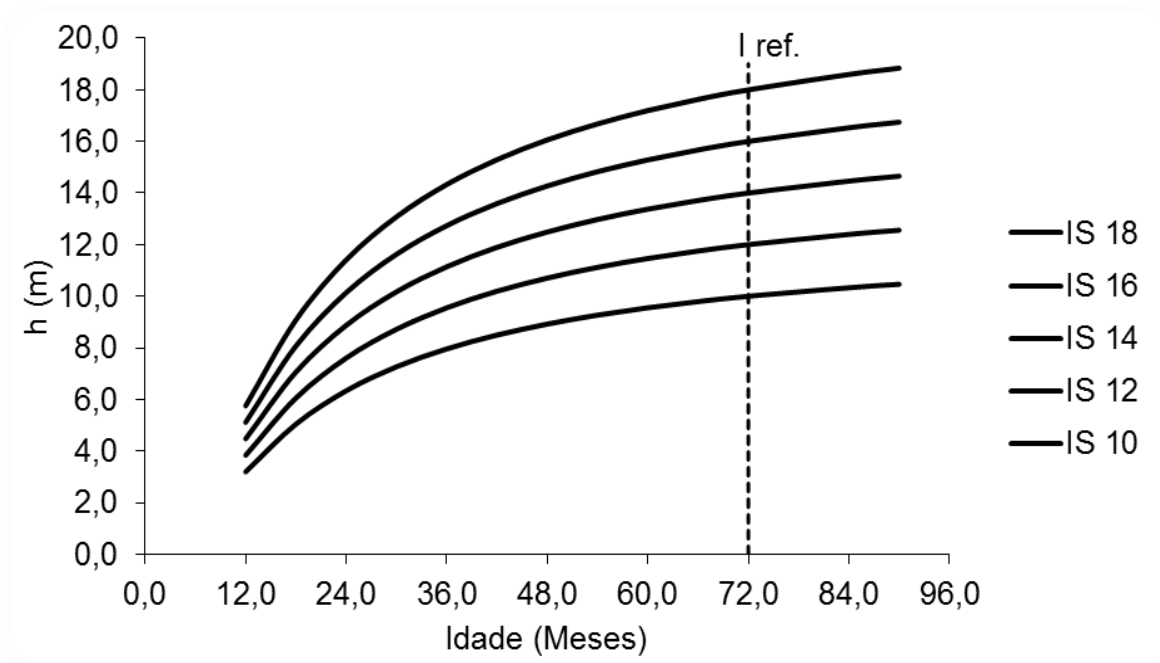
Em que: I ref.= Idade de Referência; IS= Índice de sítio.



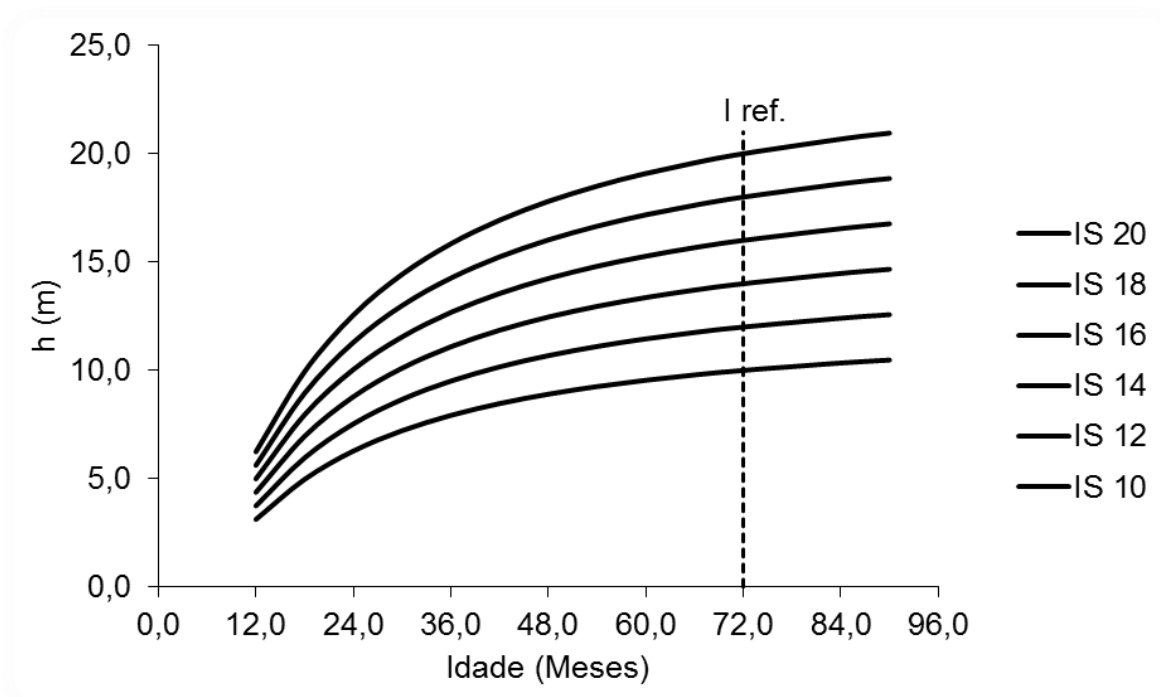
Fonte: Santos (2012).

Figura 11- Curvas de índice de sítio para o grupo 4, utilizando a equação de Schumacher, em experimento de clones de *Eucalyptus* spp. no Polo Gesseiro do Araripe, Araripina, Pernambuco.

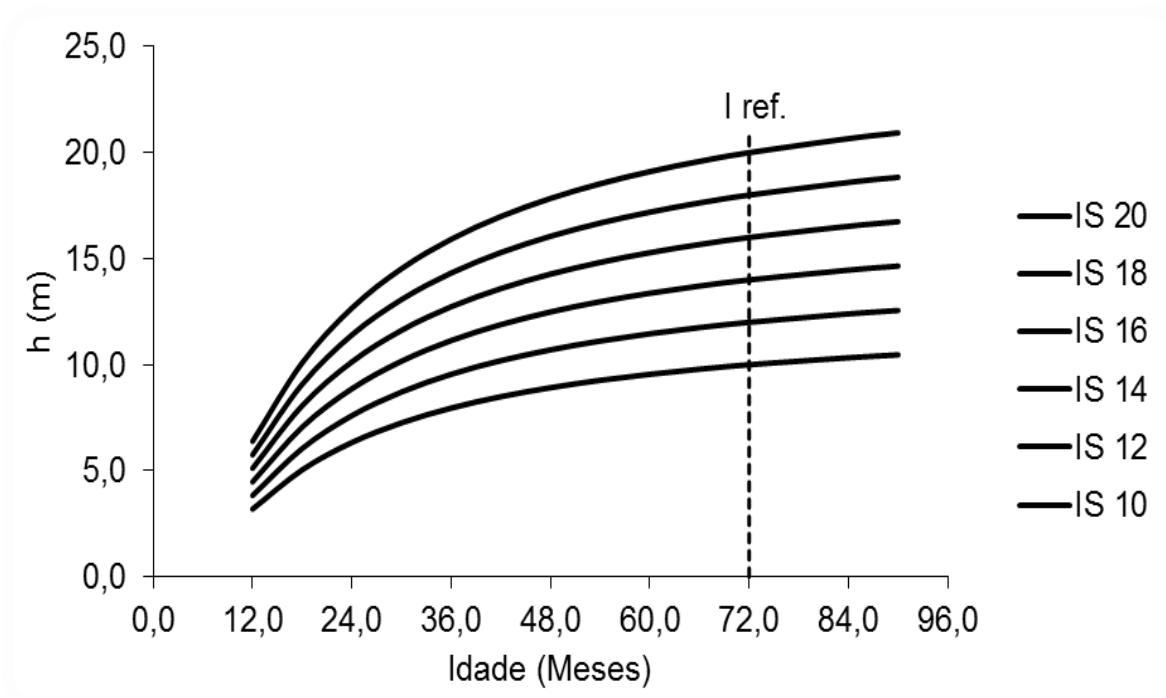
Em que: I ref.= Idade de referência; IS= Índice de sítio.



Fonte: Santos (2012).
 Figura 12- Curvas de índice de sítio para o grupo 5, utilizando a equação de Schumacher, em experimento de clones de *Eucalyptus* spp. no Polo Gesseiro do Araripe, Araripina, Pernambuco.
 Em que: I ref.= Idade de referência; IS= Índice de sítio.



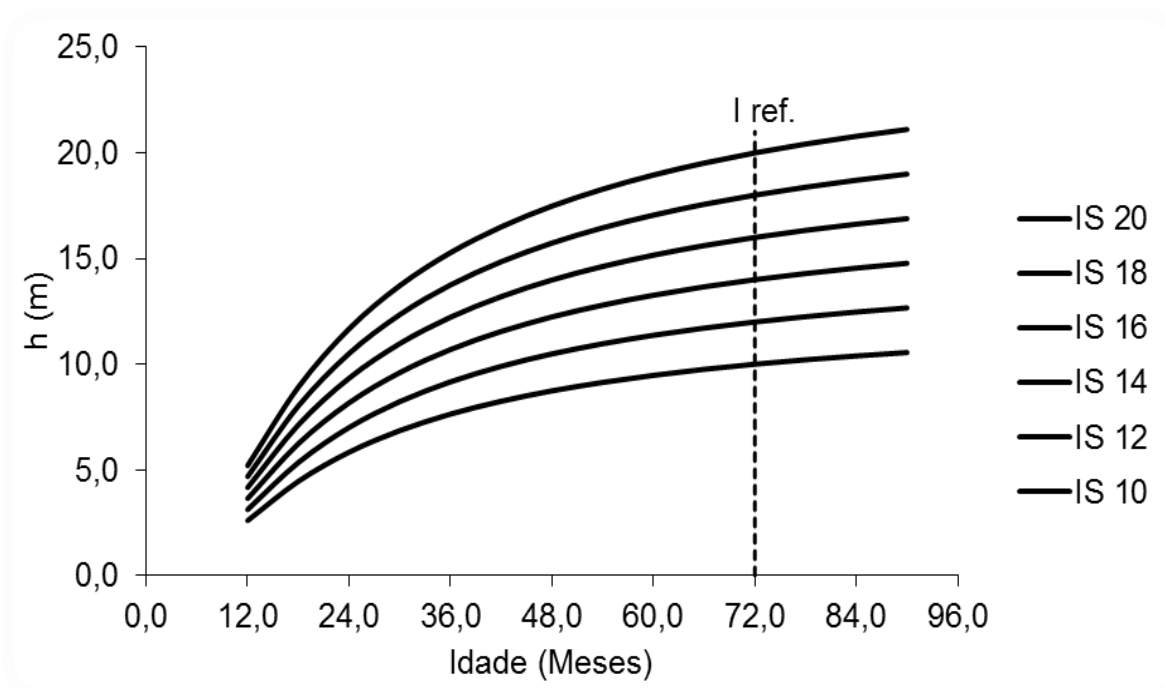
Fonte: Santos (2012).
 Figura 13- Curvas de índice de sítio para o grupo 6, utilizando a equação de Schumacher, em experimento de clones de *Eucalyptus* spp. no Polo Gesseiro do Araripe, Araripina, Pernambuco.
 Em que: I ref.= Idade de referência; IS= Índice de sítio.



Fonte: Santos (2012).

Figura 14- Curvas de índice de sítio para o grupo 7, utilizando a equação de Schumacher, em experimento de clones de *Eucalyptus* spp. no Polo Gesseiro do Araripe, Araripina, Pernambuco.

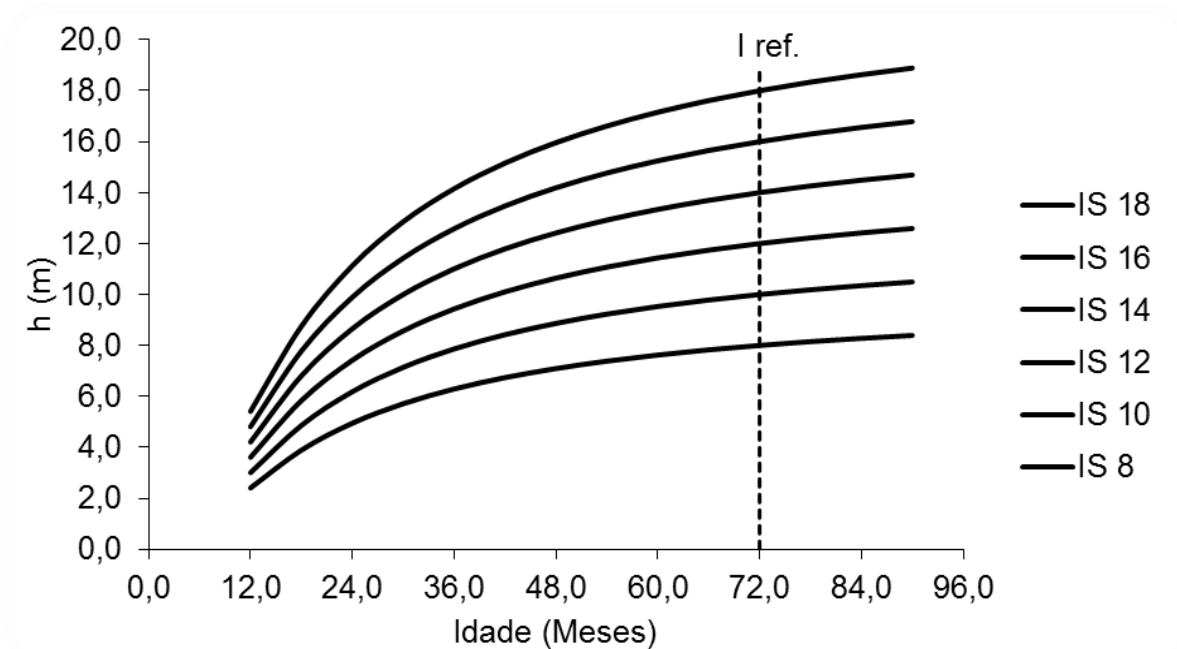
Em que: I ref.= Idade de referência; IS= Índice de sítio.



Fonte: Santos (2012).

Figura 15- Curvas de índice de sítio para o grupo 8, utilizando a equação de Schumacher, em experimento de clones de *Eucalyptus* spp. no Polo Gesseiro do Araripe, Araripina, Pernambuco.

Em que: I ref.= Idade de referência; IS= Índice de sítio.



Fonte: Santos (2012).

Figura 16- Curvas de índice de sítio para o grupo 9, utilizando a equação de Schumacher, em experimento de clones de *Eucalyptus* spp. no Polo Gesseiro do Araripe, Araripina, Pernambuco.

Em que: I ref.= Idade de referência; IS= Índice de sítio.

Como pode ser visto nos apêndices nas figuras de 20 a 28, as curvas, propositalmente, não cobriram toda a amplitude dos dados para as menores idades. Isso ocorreu porque duas novas classes, uma superior e outra inferior, surgiriam tendo poucos dados para essas idades. Fato semelhante ocorreu com Ferreira (2006), o que reforça a idéia de que a inclusão de dados de plantas jovens não é vantajosa para a classificação dos sítios.

Os índices de sítio determinados por meio do método da curva guia (curva média) para o grupo 1 ao 9, com idade de referência de 72 meses, pode ser observado nos apêndices de K ao S.

6 CONCLUSÕES

Ao se estudar o crescimento em altura de 15 clones de *Eucalyptus* spp., em experimento no Polo Gesseiro do Araripe, em Araripina – PE, por 90 meses, chegou-se às seguintes conclusões:

As diferenças de inclinação detectadas pela análise de covariância indicam, de forma precisa, entre os quinze clones testados, 9 grupos com diferentes padrões de crescimento.

Foi considerado necessário o ajuste de nove conjuntos de curvas de índice de sítio, com idade de referência de 72 meses, com intervalo de 2 metros entre as curvas.

Todas as equações testadas para estimar o crescimento em altura em função da idade apresentaram significativos, com destaque para os modelos não lineares.

Para o estabelecimento dos nove conjuntos de curvas de índice de sítio, foi selecionado o modelo de Schumacher, pela simplicidade e por estimar significativamente as alturas das árvores com apenas dois parâmetros e, principalmente, por ter apresentado umas melhores distribuições gráficas dos resíduos.

Dados de idades mais jovens não devem ser utilizados na construção das curvas de índices de locais, devido à incerteza da permanência e da dominância da árvore em idades superiores.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J. de L. **Diagnóstico ambiental e questões estratégicas: uma análise considerando o Polo Gesseiro do sertão do Araripe – Estado de Pernambuco.** 2002. 185 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- ALDER, D. **Forest volume estimation and yield prediction.** FAO Forestry Paper, Rome, v.2, n.22, 194 p. 1980.
- ANDENMATTEN, E; LETOURNEAU, F. **Curvas de índice de sitio y crecimiento em altura, para Pino Oregon (Pseudotsuga menziesii (Mill) Franco), de aplicación em la región Andino Patagónica de Chubut y Río Negro, Argentina.** Bariloche: [s.n.], 2000. (Comunicación Técnica, nº. 9).
- ARAÚJO, S. M. S. **O Polo Gesseiro do Araripe: unidades geo-ambientais e impactos da mineração.** 2004. 276 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Campinas.
- ATECEL. **Diagnóstico energético do setor industrial do Polo Gesseiro da Mesorregião de Araripina – PE.** Campina Grande: 2006. 126 f.
- BALTAR, C. A. M. et al. **Diagnóstico do Polo Gesseiro de Pernambuco (Brasil) com ênfase na produção de gipsita para fabricação de cimento.** 2003. Disponível em http://www.minas.upm.es/catedranefa/Concsultas/MAGALAHAESCARLOS_IVIBERMAC.pdf.> Acesso em 21 abr. 2010.
- BARROS, B. C. **Volumetria, densidade, carbono e calorimetria de espécies nativas e exóticas no Polo Gesseiro do Araripe.** 2009. 67 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- BATISTA, J.L.F., DO COUTO, H.T.Z. Escolha de modelos matemáticos para a construção de curvas de índice de sitio para florestas implantadas de Eucalyptus sp no Estado de São Paulo. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, São Paulo, v. 1, n. 32, p. 32-41, 1986.
- BERGER, R. **Crescimento e qualidade da madeira de um clone de Eucalyptus saligna Smith sob o efeito do espaçamento e da fertilização.** 2000. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- BERGER, R. et. al. Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *eucalyptus saligna* Smith. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 75-87, 2002.
- BERTALANFFY, L. V. General system theory: a new approach to unity of science. **Human Biology**, Philadelphia, v. 23, n. 4. p. 303 – 361, 1951.
- BURGER, D. **Ordenamento florestal I; a produção florestal.** 2.ed. Curitiba, Universidade Federal do Paraná - Setor de Ciências Agrárias, 124 p. 1975.

CAMPOS, J. C. C. et al. Aplicação de um modelo compatível de crescimento e produção de densidade variável em plantações de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.10, n.2, p.121-134, 1986.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, G. L. **Mensuração Florestal: perguntas e respostas**. 3. ed. Atual. ampl. Viçosa, MG: Editora UFV, 2009. 252 p.

CARMEAN, W.H. Tree-Growth patterns in relation to soil and site. In: **Tree growth and forest soils**. USA: Oregon State University, USA, 1970. 527p.

CARVALHO, A. P. et. al. Efeitos de características do solo sobre a capacidade produtiva de *Pinus taeda*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 39, p. 51-66, 1999.

CHANDLER, D.; HANSON, R. **Brazilian experienses in production of *Eucalyptus* for energy**. 1 ed. Morrilton/Arkansas Brasília, DF: Winrock International, 1998, 148 p.

CHAPERON, H. Vegetative propagation of *Eucalyptus*. In: Simpósio de melhoramento y mejoramiento de especies forestales, 1987, Buenos Aires. **Anais**. Buenos Aires, CIEF, 1987. p. 215 - 232.

CIESZEWSKI, C.J.; BELLA, I. E. Polimorphic height and site index curves for lodgepole pine in Alberta. **Canadian Journal of Forest Research**., v. 19, p.1151-1160, 1989.

CLUTTER, J. L. et al. **Timber Management. A quantitative approach**. New York: John Wiley & Sons, 1983. 46 p.

COUTO, H. T. Z., BASTOS, N. L. M. Curvas de crescimento em volume para *Eucalyptus* sp, em segunda rotação no Estado de São Paulo. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, Piracicaba, v. 34, p.15-18, 1986.

CRECHI, E. H. et al. Desarrollo de funciones de índice de sitio para *Eucalyptus grandis* cultivado en La Mesopotamia. Argentina. **RIA**., v. 37, n. 3, p. 238-248, 2011.

CRUZ, J. P. et al. Curvas de crescimento e de índice de local para povoamentos de *Tectona grandis* em Tangará da Serra. Mato Grosso. **Revista Árvore**, MG, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 679-685, 2008.

CUNHA NETO, F. R. et al. Uso da diferença algébrica para construção de curvas de índice de sitio para *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* na região de Luiz Antonio – SP. **Revista Cerne**, Lavras, v. 2, p. 1-26, 1996.

CUNHA, A. B. et al. Consumo da lenha na calcinação da gipsita e impactos ambientais no Polo Gesseiro da Mesorregião do Araripe – PE. **Revista de Biologia e Farmácia**, Campina Grande, PB, v. 2, n. 1, p. 1-21, 2008.

DANIEL, T.W.; HELMS, J.A.; BACKER, F.S. **Principles of silviculture**. New York: McGraw-Hill, 1979. 492 p.

DAVIS, L.S.; JOHNSON, K .M. **Forest management**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1987. 790 p.

LIMA, D. G. **Desenvolvimento e aplicação de um modelo de suporte à decisão sobre multiprodutos de povoamentos de eucalipto**. 1996. 88 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

DIAS, A. N.; et. al. Avaliação de métodos de ajuste de curvas de índices de local em povoamentos de eucalipto desbastados. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, p. 741-747, 2005.

DNPM. Sumário Mineral. **Gipsita**. Recife, p. 80-81, 2003. <Disponível em: <http://www.dnpm-pe.gov.br/>>, Acesso em: 22 Dez. 2011.

DRAPER, N.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. New York: John Wiley e Sons, 1966.

EMBRAPA. **Agência de Informação EMBRAPA**. Brasília, DF. <Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_96_10112005101956.html>, Acesso em: 19 Set. 2011.

FERREIRA, M. Melhoramento e a silvicultura intensiva clonal. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, Piracicaba, n. 45, p. 22-30, jan./dez. 1992.

FERREIRA, M. Z.; GUIMARÃES, M. A. M.; SCOLFORO, J. R. S. Classificação de sítios florestais por meio de análise de tronco. Concórdia: **Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária**. 2006. 14 p.

FIGUEIRÔA, J. M. et al. **Espécies da Flora Nordestina de Importância Econômica Potencial**. Recife: APNE, 2005. p. 101-133.

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

FLORES et al. Considerações acerca do tamanho da amostra e número de repetições para avaliação de dados dendrométricos em povoamento clonal de *Eucalyptus saligna*. In: **Congresso Internacional de Celulose E Papel**, São Paulo, p. 15, 2000.

FREUND, R. J., LITTELL, R. C. **SAS for linear models: A guide to the ANOVA and GLM procedures**. Cary, NC: SAS institute, 1985, 230 p.

HIGASHI, E.N.; SILVEIRA, R.L.V.A. e GONÇALVES, A.N. Nutritional monitoring and fertilization in clonal macro, mini, and microgardens. In: GONÇALVES, J.L.M., ed. Forest nutrition and fertilization. Piracicaba, **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, p.195 – 222, 2004.

ILEY, W. E. **Conifers: South African methods of cultivation**. Faber and Faber, London, p.123, 1959.

IBGE. **Censo Demográfico 2010**, 2010. Disponível em < <http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 10 out 2011.

LIMA, W.P. **Impacto ambiental do eucalipto**. 2. ed. São Paulo: EDUSP, 302 p. 1996.

LYRA SOBRINHO, A. C. P. et al. **Gipsita**. Departamento Nacional de Produção Mineral. 2007, <Disponível em: <http://www.dnpm-pe.gov.br/>> Acesso em: 22 Dez. 2011.

MACHADO, S. A. Estimativa de sobrevivência de *Pinus taeda* em plantios homogêneos. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v.10, n.1, p.73-76, 1979.

MACHADO, S. A. et al. Classificação de sítio para bracatingais na região metropolitana de Curitiba. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 35, p. 21-37. 1997.

MACHADO, S. A. et. al. Constructiocn of site curves for native *Mimosa scabrella* stands in the metropolitan region of Curitiba. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 4, p. 489-497, out./dez. 2011.

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

MACHADO, S. A. Curvas de índice de sitio para plantações de *Pinus taeda* L. na região central do Estado do Paraná. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v.11. n. 2, p. 4-17, 1980.

MARTINS, E. F. et. al. Curvas de índice de sítio para Leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit) no agreste de Pernambuco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 4, p. 365-376, 2007.

MONTEIRO, M. KANNINEN, M. Índice de sitio para *Terminalia amazonia* em Costa Rica. **Agronomía Costarricense**. San José, Costa Rica, n. 27, v. 1, p. 29-35. 2003.

OLIVEIRA, M. L. R, et. al. Classificação da capacidade produtiva de povoamentos não desbastados de clones de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 43, n.11, p.1559-1567, nov. 2008.

PIENAAR, L. V. **Quantitative theory of forest growth.** 1965. 167 f. Thesis (Doctor of Philosophy) - University of Washington, Washington.

PNMA. **Licenciamento ambiental no Araripe:** estudo preliminar da relação de causa e efeitos e hierarquização dos problemas ambientais da Região do Araripe – Perbambuco, Maceió, AL, 36 p. 2005.

POORTER, L.; BONGERS, F. **Ecology of tropical forests.** Wageningen Agricultural University, 223 p, 1993.

PRODAN, M. **Forest biometrics.** Oxford, Pergamon Press, 1968. 447 f.

RICHARDS, F. J. A flexible growth function for empirical use. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 10, p. 290-300, 1959.

RIZZINI, C. T. **Árvores e madeiras úteis do Brasil:** manual de dendrologia brasileira. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1978.

SÁ, J. A. G. M. **Avaliação do estoque lenhoso do sertão e agreste pernambucano:** inventário florestal do Estado de Pernambuco. Recife: NUD/FAO/IBAMA/GOVERNO DE PERNAMBUCO, 1988, 175 p.

SANTOS, R. L. **Capim elefante cultivado em solo ácido com aplicação de gesso com alternativa fitoenergética para o Polo Gesseiro do Araripe -Pernambuco.** Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - 2011. 116 f. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia, Recife.

SBS. **Fatos e números do Brasil florestal.** São Paulo. nov., 2006. 109 p.

SCHEEREN, L. W., et al. Crescimento em altura de *araucaria angustifolia* (bert.) o. ktze. em três sítios naturais, na região de canela, Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 23-40, 1999.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. **Introdução ao manejo florestal.** 2 ed. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2008. 566 p.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P.; SOUZA, C. A. M. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**, 2 ed. Santa Maria; UFSM, CEPEF, 2009. p 255-256.

SCHUMACHER, F. X. **A new growth curve and its applications to timber-yield studies.** Journal Forestry, Bethesda, v. 37, p. 819-820, 1939.

SCOLFORO, J. R. **Mensuração Florestal:** Modelagem do crescimento e da produção de florestas plantadas e nativas. Lavras, UFLA/FAEPE, p. 451, 1998.

SCOLFORO, J. R. **Mensuração Florestal:** avaliação da produtividade florestal através da classificação do sítio. Escola Superior de Agricultura de Lavras. II. Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão. III. Título. p. 18-19, 1993.

SELLE, G. L. **Classificação de sítios para Pinus taeda L., através da altura dominante, para a região de Cambará do Sul, RS, Brasil.** 1993. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SELLE, G. L. et al. Índices de sítios para *hovenia dulcis* thunberg na região central do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 407-423, out.- dez. 2009

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

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

SINDUSGESSO. **O Polo Gesseiro.** Recife, 2012. Disponível em:<<http://www.sindusgesso.org.br/>>. Acesso em 15 jan. 2012.

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

TÉO, S. J.; BRESSAN, D. R.; COSTA, R. H. Uso de modelos estatísticos para classificação de sítios em povoamentos de *Pinus taeda* na região de Caçador – Santa Catarina. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 41, n. 1, p. 179-188, jan./mar. 2011.

TESHOME, T.; PETTY, J. A. Site index equation for *Cupressus lusitanica* stands in munessa forest, Ethiopia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, n. 126, p. 339-347, 2000.

TEWARI, V. P.; KUMAR, V. S. Development of top height model and site index curves for *Azadirachta indica* A. Juss. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, n. 165, p. 67-73, 2002.

TONINI, H. **Crescimento em altura de *Pinus elliottii* Engelm, em três unidades de mapeamento de solo, nas regiões da Serra do Sudeste e Litoral, no estado do Rio Grande do Sul.** 2000. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

TONINI, H. et al. Crescimento em altura de *Pinus elliottii* Engelm., na região de Piratini no Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 3, p. 417-423, jun. 2001.

TONINI, H.; SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C.A.G. Crescimento de clones de *Eucalyptus saligna* Smith, na Depressão Central e Serra do Sudeste, Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v.14, p.61 - 77, 2004.

TONINI, H.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Curvas de índice de sítio para povoamentos clonais de *eucalyptus saligna* smith para a depressão central e serra do sudeste, Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 1, p. 27-43, 2006.

TRABADO, G. I. GIT Forestry Consulting - **Consultoría y Servicios de Ingeniería**, 2009. <Disponível em <http://www.git-forestry.com/>>. Acesso em 15 de jan. de 2012.

TRABADO, G. I.; WILSTERMANN, D. *Eucalyptus universalis*. **Global cultivated eucalypt forests**, mapa 2008. Version 1.0.1. In: GIT Forestry Consulting's EUCALYPTOLOGICS.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Análise de covariância para testar diferença de inclinação entre os clones 5; 7 e 15.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob.>F
Modelo	3	2648,28	882,76	11280,89	<0,0001
Erro	2892	226,31	0,07825		
Total	2895	2874,59			
Ln(t)	1	2647,86	2647,86	33837,30	<0,0001
Ln(t)*D5	1	0,169	0,169	2,16	<0,0001
Ln(t)*D7	1	0,24801	0,24801	3,17	<0,0001
Ln(t)*D15	0	0,000000	-	-	-

Fonte: Santos (2012).

Em que: FV=fonte de variação; GL= graus de liberdade; SQ= soma de quadrados; QM= quadrado médio; Ln= Logaritmo natural, t= idade em meses F= valor de F; Prob.>F= probabilidade de significância para o valor de F; D= variável Dummy.

APÊNDICE B - Análise de covariância para testar diferença de nível e inclinação entre os clones 1; 2; 3; 4; 6; 8; 9; 10; 11; 12; 13 e 14.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob.>F
Modelo	12	10780,86	898,40	11972,10	<0,0001
Erro	12835	963,16	0,08		
Total	12847	11744,01			
Ln(t)	1	10739,20	10739,20	143110,00	<0,0001
Ln(t)*D1	1	0,70	0,70	9,31	<0,0023
Ln(t)*D2	1	5,21	5,21	69,45	<0,0001
Ln(t)*D3	1	9,93	9,93	132,39	<0,0001
Ln(t)*D4	1	5,63	5,63	75,06	<0,0001
Ln(t)*D6	1	2,23	2,23	29,69	<0,0001
Ln(t)*D8	1	5,27	5,27	70,27	<0,0001
Ln(t)*D9	1	1,29	1,29	17,18	<0,0001
Ln(t)*D10	1	0,48	0,48	6,45	<0,0111
Ln(t)*D11	1	8,76	8,76	116,7	<0,0001
Ln(t)*D12	1	1,79	1,79	23,8	<0,0001
Ln(t)*D13	1	0,36	0,36	4,77	0,0289
Ln(t)*D14	0	0,00	-	-	-

Fonte: Santos (2012).

Em que: FV=fonte de variação; GL= graus de liberdade; SQ= soma de quadrados; QM= quadrado médio; Ln= Logaritmo natural, t= idade em meses F= valor de F; Prob.>F= probabilidade de significância para o valor de F; D= variável Dummy.

APÊNDICE C - Análise de covariância para testar diferença de nível e inclinação entre os clones 1; 2; 3; 4; 6; 8; 9; 10; 11; 12 e 13.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob.>F
Modelo	11	10014,13	910,38	12218,80	<0,0001
Erro	11716	872,91	0,07		
Total	11727	10887,05			
Ln(t)	1	9974,69	9974,69	133878,00	<0,0001
Ln(t)*D1	1	0,4949,38	0,4949,38	6,64	<0,0010
Ln(t)*D2	1	4,60	4,60	61,68	<0,0001
Ln(t)*D3	1	9,22	9,22	123,73	<0,0001
Ln(t)*D4	1	5,21	5,21	69,91	<0,0001
Ln(t)*D6	1	2,05	2,05	27,56	<0,0001
Ln(t)*D8	1	5,22	5,22	70,11	<0,0001
Ln(t)*D9	1	1,28	1,28	17,2	<0,0001
Ln(t)*D10	1	0,48	0,48	6,44	<0,0112
Ln(t)*D11	1	10,01	10,01	134,32	<0,0001
Ln(t)*D12	1	0,88	0,88	11,87	<0,0006
Ln(t)*D13	0	0,00	-	-	-

Fonte: Santos (2012).

Em que: FV=fonte de variação; GL= graus de liberdade; SQ= soma de quadrados; QM= quadrado médio; Ln= Logaritmo natural, t = idade em meses F= valor de F; Prob.>F= probabilidade de significância para o valor de F; D= variável Dummy.

APÊNDICE D - Análise de covariância para testar diferença de nível e inclinação entre os clones 1; 2; 3; 4; 6; 8; 9; 10 e 11.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob.>F
Modelo	10	9010,53	901,05	12218,80	<0,0001
Erro	10645	781,32	0,07		
Total	10655	9791,85			
Ln(t)	1	8971,60	8971,60	122232,00	<0,0001
Ln(t)*D1	1	0,40	0,40	5,51	0,0189
Ln(t)*D2	1	4,33	4,33	59,05	<0,0001
Ln(t)*D3	1	9,06	9,06	123,38	<0,0001
Ln(t)*D4	1	5,33	5,33	72,56	<0,0001
Ln(t)*D6	1	2,31	2,31	31,44	<0,0001
Ln(t)*D8	1	6,11	6,11	83,23	<0,0001
Ln(t)*D9	1	0,72	0,72	9,83	<0,0017
Ln(t)*D10	1	1,27	1,27	9,83	<0,0001
Ln(t)*D11	1	9,41	9,41	17,29	<0,0001
Ln(t)*D12	0	0,00	-	-	-

Fonte: Santos (2012)

Em que: FV=fonte de variação; GL= graus de liberdade; SQ= soma de quadrados; QM= quadrado médio; Ln= Logaritmo natural, t = idade em meses F= valor de F; Prob.>F= probabilidade de significância para o valor de F; D= variável Dummy.

APÊNDICE E - Análise de covariância para testar diferença de nível e inclinação entre os clones 1; 2; 3; 4; 6 8; 9; 10 e 11.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob.>F
Modelo	9	8486,52	942,95	12859,30	<0,0001
Erro	10006	733,72	0,07		
Total	10015	9220,24			
Ln(t)	1	8447,97	8447,97	115208,00	<0,0001
Ln(t)*D1	1	476363,00	476363,00	6,5	0,0109
Ln(t)*D2	1	4,67	4,67	63,63	<0,0001
Ln(t)*D3	1	9,77	9,77	133,27	<0,0001
Ln(t)*D4	1	6,24	6,24	85,09	<0,0001
Ln(t)*D6	1	3,22	3,22	43,89	<0,0001
Ln(t)*D8	1	8,36	8,36	113,99	<0,0001
Ln(t)*D9	1	0,04	0,04	0,51	0,473
Ln(t)*D10	1	5,77	5,77	78,71	<0,0001
Ln(t)*D11	0	0,00	-	-	-

Fonte: Santos (2012)

Em que: FV=fonte de variação; GL= graus de liberdade; SQ= soma de quadrados; QM= quadrado médio; Ln= Logaritmo natural, t = idade em meses F= valor de F; Prob.>F= probabilidade de significância para o valor de F; D= variável Dummy.

APÊNDICE F - Análise de covariância para testar diferença de nível e inclinação entre os clones 9 e 11.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob.>F
Modelo	2	1701,54	850,77	11633,08	<0,0001
Erro	2157	157,75	0,07		
Total	2159	1859,28			
Ln(t)	1	1700,28	1700,28	232449,00	<0,0001
Ln(t)*D9	1	1,26	1,26	17,19	<0,0001
Ln(t)*D11	0	0,00	-	-	-

Fonte: Santos (2012)

Em que: FV=fonte de variação; GL= graus de liberdade; SQ= soma de quadrados; QM= quadrado médio; Ln= Logaritmo natural, t = idade em meses F= valor de F; Prob.>F= probabilidade de significância para o valor de F; D= variável Dummy.

APÊNDICE G - Análise de covariância para testar diferença de nível e inclinação entre os clones 1; 2; 3; 4; 6; 8; 9 e 10.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob.>F
Modelo	8	7686,32	960,79	13365,42	<0,0001
Erro	8999	646,90	0,07		
Total	9007	8333,22			
Ln(t)	1	7666,57	7666,57	106649,00	<0,0001
Ln(t)*D1	1	0,04	0,04	0,57	0,4509
Ln(t)*D2	1	2,52	2,52	35,03	<0,0001
Ln(t)*D3	1	6,42	6,42	89,35	<0,0001
Ln(t)*D4	1	3,36	3,36	46,73	<0,0001
Ln(t)*D6	1	1,14	1,14	15,86	<0,0001
Ln(t)*D8	1	4,52	4,52	62,87	<0,0001
Ln(t)*D9	1	1,75	1,75	24,34	<0,0001
Ln(t)*D10	0	0,00	-	-	-

Fonte: Santos (2012).

Em que: FV=fonte de variação; GL= graus de liberdade; SQ= soma de quadrados; QM= quadrado médio; Ln= Logaritmo natural, t = idade em meses F= valor de F; Prob.>F= probabilidade de significância para o valor de F; D= variável Dummy.

APÊNDICE H - Análise de covariância para testar diferença de nível e inclinação entre os clones 1 e 10.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob.>F
Modelo	2	2116,63	1058,31	13506,61	<0,0001
Erro	2189	171,52	0,08		
Total	2191	2288,15			
Ln(t)	1	2115,44	2115,44	26998,10	<0,0001
Ln(t)*D1	1	1,19	1,19	15,14	<0,0001
Ln(t)*D10	1	0,00	-	-	-

Fonte: Santos (2012).

Em que: FV=fonte de variação; GL= graus de liberdade; SQ= soma de quadrados; QM= quadrado médio; Ln= Logaritmo natural, t = idade em meses F= valor de F; Prob.>F= probabilidade de significância para o valor de F; D= variável Dummy.

APÊNDICE I - Análise de covariância para testar diferença de nível e inclinação entre os clones 1; 2; 3; 4; 6; 8 e 9.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob.>F
Modelo	7	6562,92	937,56	13139,54	<0,0001
Erro	7832	558,85	0,07		
Total	7839	7121,77			
Ln(t)	1	6545,39	6545,39	106649,00	<0,0001
Ln(t)*D1	1	0,00	0,00	0,57	0,4509
Ln(t)*D2	1	1,83	1,83	35,03	<0,0001
Ln(t)*D3	1	5,47	5,47	89,35	<0,0001
Ln(t)*D4	1	5,47	5,47	46,73	<0,0001
Ln(t)*D6	1	1,08	1,08	15,86	<0,0001
Ln(t)*D8	1	6,26	6,26	62,87	<0,0001
Ln(t)*D9	0	0,00	-	-	-

Fonte: Santos (2012).

Em que: FV=fonte de variação; GL= graus de liberdade; SQ= soma de quadrados; QM= quadrado médio; Ln= Logaritmo natural, t = idade em meses F= valor de F; Prob.>F= probabilidade de significância para o valor de F; D= variável Dummy.

APÊNDICE J- Análise de covariância para testar diferença de nível e inclinação entre os clones 1 e 9.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob.>F
Modelo	2	1908,08	954,04	12034,35	<0,0001
Erro	2173	172,27	0,08		
Total	2175	2080,35			
Ln(t)	1	1902,49	1902,49	23998,20	<0,0001
Ln(t)*D1	1	5,59	5,59	70,53	<0,0001
Ln(t)*D9	1	0,00	-	-	-

Fonte: Santos (2012).

Em que: FV=fonte de variação; GL= graus de liberdade; SQ= soma de quadrados; QM= quadrado médio; Ln= Logaritmo natural, t = idade em meses F= valor de F; Prob.>F= probabilidade de significância para o valor de F; D= variável Dummy.

APÊNDICE K - Análise de covariância para testar diferença de nível e inclinação entre os clones 1; 2; 3; 4; 6 e 8.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob.>F
Modelo	6	5632,18	938,70	13121,33	<0,0001
Erro	6681	477,96	0,07		
Total	6687	6110,14			
Ln(t)	1	5628,61	5628,61	7867,10	<0,0001
Ln(t)*D1	1	0,38	0,38	5,25	0,022
Ln(t)*D2	1	0,35	0,35	4,87	0,0274
Ln(t)*D3	1	2,25	2,25	31,39	<0,0001
Ln(t)*D4	1	0,44	0,44	6,15	0,0132
Ln(t)*D6	1	0,16	0,16	2,25	0,1335
Ln(t)*D8	0	0,00	-	-	-

Fonte: Santos (2012).

Em que: FV=fonte de variação; GL= graus de liberdade; SQ= soma de quadrados; QM= quadrado médio; Ln= Logaritmo natural, t = idade em meses F= valor de F; Prob.>F= probabilidade de significância para o valor de F; D= variável Dummy.

APÊNDICE L- Análise de covariância para testar diferença de nível e inclinação entre os clones 6 e 8.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob.>F
Modelo	2	2070,97	1035,48	16254,65	<0,0001
Erro	2205	140,47	0,06		
Total	2207	2211,43			
Ln(t)	1	2070,81	2070,81	32506,80	<0,0001
Ln(t)*D6	1	0,16	0,16	2,53	0,1119
Ln(t)*D8	0	0,00	-	-	-

Fonte: Santos (2012).

Em que: FV=fonte de variação; GL= graus de liberdade; SQ= soma de quadrados; QM= quadrado médio; Ln= Logaritmo natural, t = idade em meses F= valor de F; Prob.>F= probabilidade de significância para o valor de F; D= variável Dummy.

APÊNDICE M - Análise de covariância para testar diferença de nível e inclinação entre os clones 1; 2; 3 e 4.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob.>F
Modelo	4	3568,24	892,06	12086,78	<0,0001
Erro	4475	330,28	0,07		
Total	4479	3898,51			
Ln(t)	1	3566,40	3566,40	48322,20	<0,0001
Ln(t)*D1	1	1,07	1,07	14,48	<0,0001
Ln(t)*D2	1	0,00	0,00	0,01	0,927
Ln(t)*D3	1	0,77	0,77	10,45	0,0012
Ln(t)*D4	0	0,00	-	-	-

Fonte: Santos (2012).

Em que: FV=fonte de variação; GL= graus de liberdade; SQ= soma de quadrados; QM= quadrado médio; Ln= Logaritmo natural, t = idade em meses F= valor de F; Prob.>F= probabilidade de significância para o valor de F; D= variável Dummy.

APÊNDICE N - Análise de covariância para testar diferença de nível e inclinação entre os clones 2 e 4.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob.>F
Modelo	2	1832,39	916,20	13044,25	<0,0001
Erro	2365	166,11	0,07		
Total	2367	1998,51			
Ln(t)	1	1832,23	1832,23	26086,20	<0,0001
Ln(t)*D2	1	0,16	0,16	2,32	0,1279
Ln(t)*D4	0	0,00	-	-	-

Fonte: Santos (2012).

Em que: FV=fonte de variação; GL= graus de liberdade; SQ= soma de quadrados; QM= quadrado médio; Ln= Logaritmo natural, t = idade em meses F= valor de F; Prob.>F= probabilidade de significância para o valor de F; D= variável Dummy.

APÊNDICE O - Análise de covariância para testar diferença de nível e inclinação entre os clones 1 e 3.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob.>F
Modelo	2	1736,64	868,32	11216,07	<0,0001
Erro	2109	163,27	0,08		
Total	2111	1899,91			
Ln(t)	1	1734,96	1734,96	22410,50	<0,0001
Ln(t)*D1	1	1,68	1,68	21,65	<0,0001
Ln(t)*D3	0	0,00	-	-	-

Fonte: Santos (2012).

Em que: FV=fonte de variação; GL= graus de liberdade; SQ= soma de quadrados; QM= quadrado médio; Ln= Logaritmo natural, t = idade em meses F= valor de F; Prob.>F= probabilidade de significância para o valor de F; D= variável Dummy.

Tabela 3- Ajuste de todas as equações testadas para descrever a altura em função da idade, para nove grupos de clones de *Eucalyptus* spp. Testados no Polo Gesseiro do Araripe, Araripina, Pernambuco.

Gr.	Eq.	Coeficientes			Estatísticas		
		β_0	β_1	β_2	R ² aj.%	CV%	F
1	S ₁	2,5727	-7,7027	-	83,9	19,4	15087,9
	Pr	7,2454	1,6287	0,0438	93,7	12,0	81947,8
	Lo	-1,1726	0,9341	-	92,1	13,5	33798,5
	P	1,1206	0,2579	-	91	14,3	14692,2
	e	-5,551	4,6179	-	89,8	15,2	25480,3
	S ₂	19,1786	-19,7999	-	93,1	12,6	111454,0
	CR	17,7158	0,0257	1,0488	93,3	12,4	76668,5
	SBa	15,6578	-2,5602	0,9487	91,8	13,7	62173,3
	L	18,724	-0,0238	1,0003	93,3	12,4	76561,3
2	S ₁	2,5489	-6,9094	-	88,2	14,3	8340,3
	Pr	3,1037	1,5458	0,0506	95,7	8,9	55017,1
	Lo	-0,7195	0,8116	-	90,8	12,6	11067,6
	P	1,8225	0,2344	-	91,7	12,4	6171,6
	e	-4,1089	4,4138	-	93,7	10,8	16714,2
	S ₂	16,8091	-15,5610	-	94,6	9,9	66134,9
	CR	16,0292	0,0262	0,8937	95,2	9,4	49545,4
	SBa	14,3474	-2,2539	0,9461	93,2	11,2	34888,3
	L	16,4895	-0,03868	0,9012	95,3	9,4	50137,5
3	S ₁	2,5475	-7,9032	-	85,2	19,3	12860,7
	Pr	8,0284	1,6021	0,0466	95,7	9,8	95016,9
	Lo	-1,2762	0,9530	-	92,4	13,8	27362,8
	P	1,0765	0,2511	-	92,8	12,7	14356,0
	e	-5,3446	4,4567	-	92,0	13,3	25760,2
	S ₂	18,3715	-19,3486	-	95,2	10,3	127229,0
	CR	16,8195	0,0271	1,0646	95,2	10,3	85172,2
	SBa	15,0056	-2,5711	0,9475	93,6	11,9	63188,3
	L	17,1409	-0,0241	1,0079	95,2	10,3	84887,0
4	S ₁	2,4867	-7,4456	-	87,2	16,97	4336,3
	Pr	7,7276	1,3619	0,0570	97,1	7,5	45374,7
	Lo	-1,0669	0,8837	-	91,7	13,8	27362,8
	P	1,4685	0,2275	-	92,2	12,2	3796,3
	e	-4,2254	3,9502	-	94,9	9,9	11942,6
	S ₂	15,9725	-16,0600	-	96,9	7,7	63688,9
	CR	14,4064	0,0327	1,0441	96,3	8,4	35683,5
	SBa	13,1872	-2,5299	0,9387	94,4	10,4	23400,4
	L	14,7074	-0,0320	0,9840	96,3	8,	35633,7
	L	17,0439	7,9632	2,6678	97,1	7,4	45771,7

Continuação...

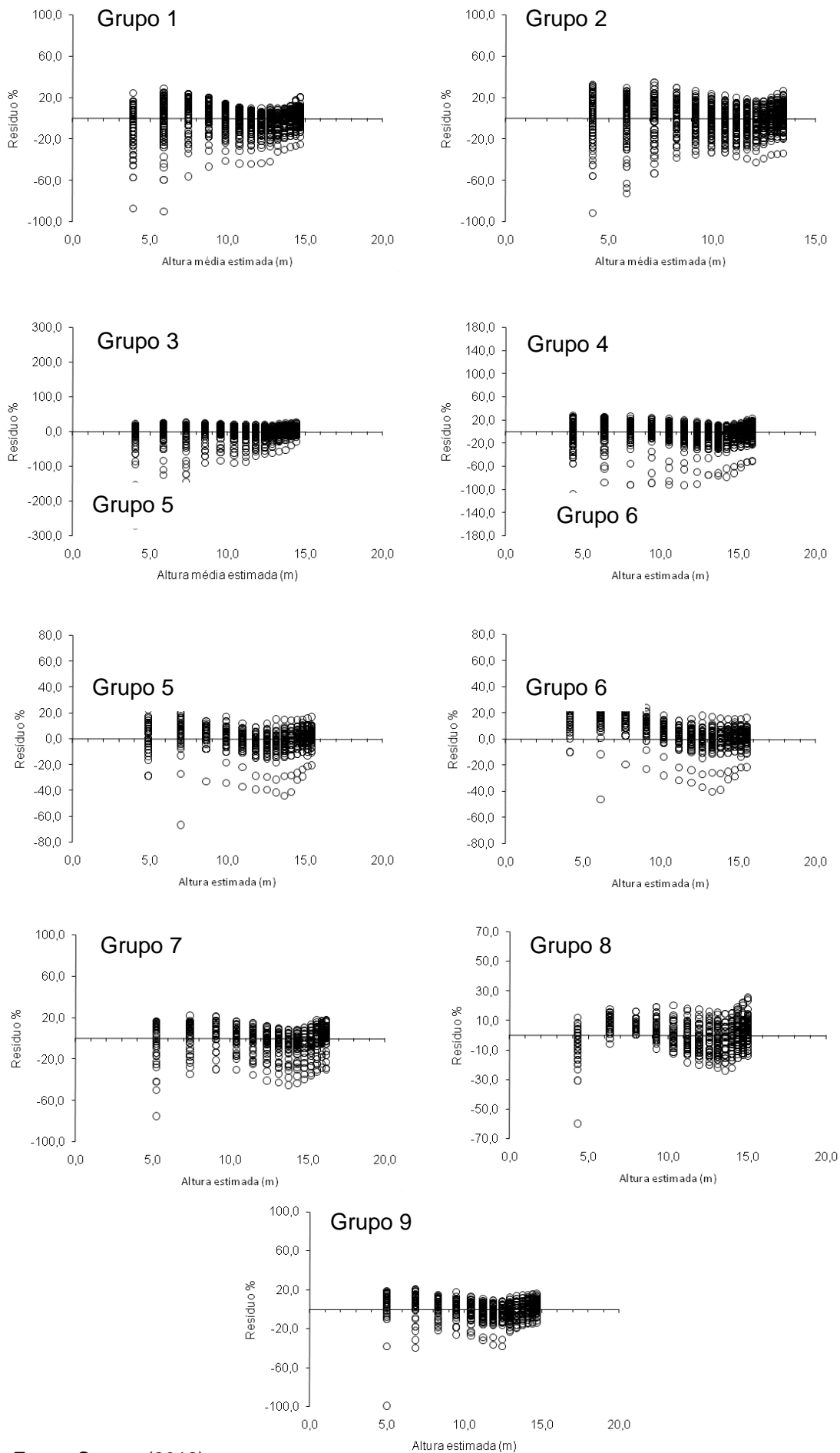
5	S ₁	2,6466	-7,3140	-	87,7	15,0	7169,4
	Pr	4,7149	1,3391	0,0462	93,8	11,1	32204,7
	Lo	-0,8195	0,8609	-	90,7	13,03	9822,2
	P	1,7494	0,2651	-	89,9	14,2	4463,5
	e	-4,8953	4,6190	-	91,5	13,0	10832,1
	S ₂	18,8738	-16,4238	-	93,1	11,7	43667,7
	CR	17,4379	0,0289	0,9788	93,2	11,6	29656,0
	SBa	15,7721	-2,4057	0,9437	91,44	13,0	23432,5
	W	17,8185	-0,0331	0,9542	93,2	11,6	29750,0
	L	21,1459	15,3643	1,7033	93,7	11,2	32033,7
6	S ₁	2,5954	-7,3518	-	87,9	15,33	8336,4
	Pr	6,4398	1,3312	0,0492	96,7	8,1	70358,1
	Lo	-0,9107	0,8717	-	92,2	12,3	13665,8
	P	1,4380	0,2622	-	93,2	11,6	7830,2
	e	-4,7961	4,4319	-	94,1	10,8	18352,1
	S ₂	18,0986	-16,7710	-	96,2	8,6	91755,3
	CR	16,2607	0,0322	1,0640	96,2	8,6	61506,5
	SBa	14,9941	-2,4967	0,9462	94,7	10,2	43622,6
	W	6,4451	-0,0288	1,0110	96,0	8,0	61234,9
	L	19,9035	12,4401	1,9920	96,7	8,1	70137,8
7	S ₁	2,4996	-7,8218	-	84,4	20,06	17508,4
	Pr	10,5967	1,516	0,0492	96,6	8,8	16971,6
	Lo	-1,3106	0,9506	-	93,1	13,4	43449,6
	P	0,8637	0,2476	-	94,0	11,7	25083,9
	e	-5,2381	4,3053	-	92,4	13,1	39144,4
	S ₂	17,8592	-19,9808	-	96,2	9,3	227949,0
	CR	15,8396	0,0298	1,1525	96,1	9,3	151059,0
	SBa	14,3795	-2,6775	0,9462	94,8	10,8	11963,0
	W	15,9811	-0,0208	1,0630	96,1	9,4	14926,4
	L	19,8135	13,3152	2,1951	96,6	8,8	169763
8	S ₁	2,4471	-7,0912	-	83,6	18,82	12092,1
	Pr	3,9934	2,0619	0,0469	90,2	15,0	42041,4
	Lo	-0,9986	0,8593	-	91,7	13,9	26071,6
	P	1,2078	0,2231	-	87,8	16,6	8514,7
	e	-4,6353	4,0274	-	86,3	17,6	14863,6
	S ₂	16,8984	-193847	-	90,1	15,1	55991,8
	CR	16,4746	0,0214	0,9369	89,8	15,2	40936,2
	SBa	14,1430	-2,3843	0,9525	88,3	16,3	35583,1
	W	16,9473	-0,0276	0,9343	89,8	15,2	41026,1
	L	20,9058	32,3787	1,2570	90,1	15,1	41864,4

Continuação...

	S ₁	2,4116	-6,8003	-	85,7	16,7	6538,4
	Pr	3,832,7	1,9212	0,0535	92,6	10,4	28885,3
	Lo	-08610	0,8149	-	91,9	12,6	12367,3
	P		0,2119		89,7	14,4	4737,2
	e		3,72657	-	90,0	14,4	9544,4
9	S ₂	15,4671	-17,3086	-	91,5	13,1	37384,1
	CR	14,7132	0,0248	0,9281	92,3	12,5	27644,8
	SBa	13,0322	-2,3275	0,9486	90,7	13,7	22830,6
	W	15,0844	-0,0327	0,9278	92,3	12,5	27753,2
	L	18,3334	25,2541	1,3146	92,6	12,2	28738,6

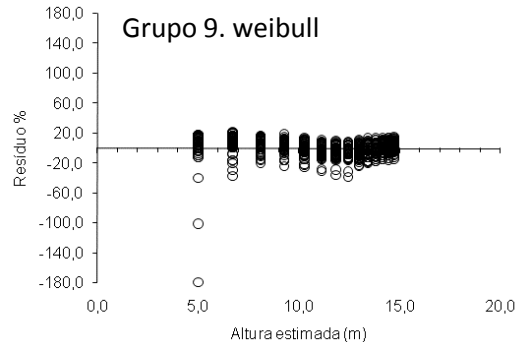
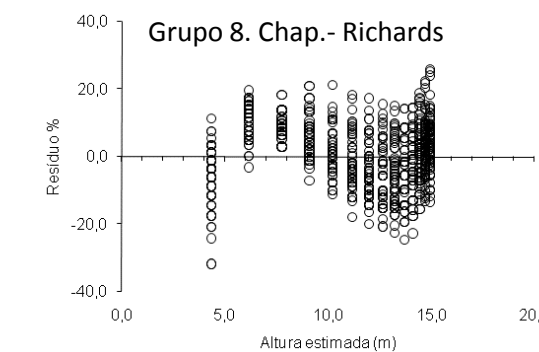
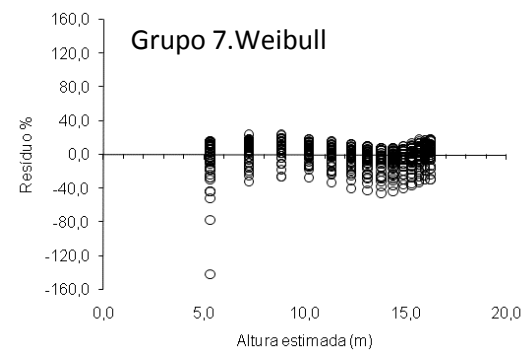
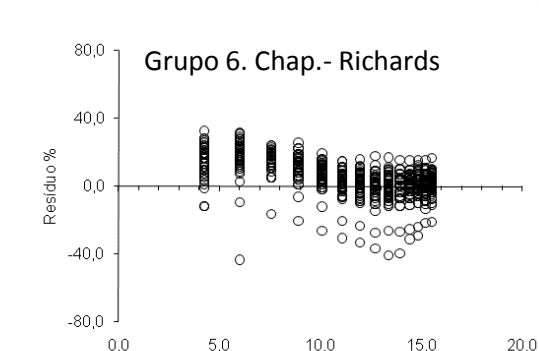
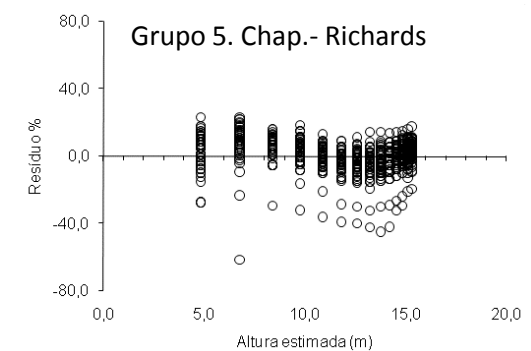
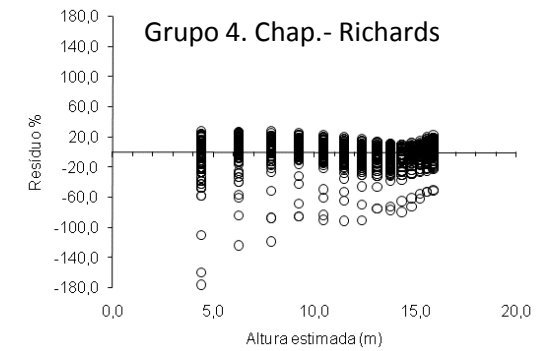
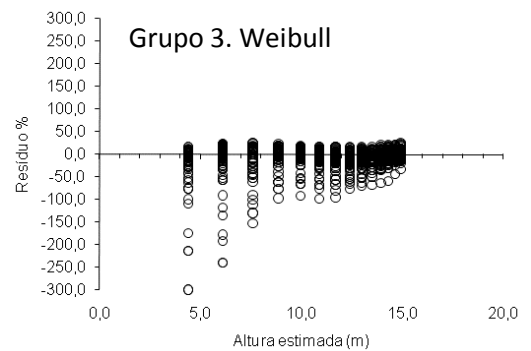
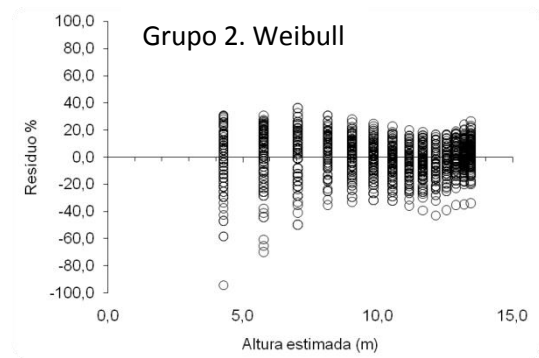
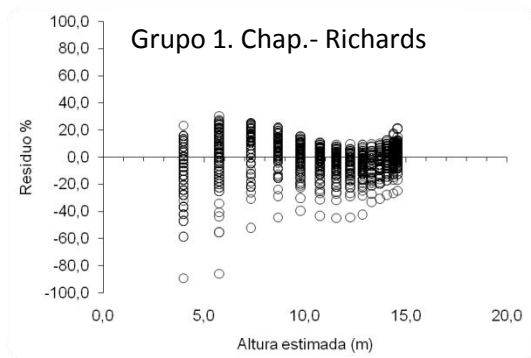
Fonte: Santos (2012).

Em que: Eq = Equação; Gr = Grupo; b₀, b₁, b₂ = coeficientes da regressão estimados; R²aj.% = Coeficiente de determinação ajustado em porcentagem; CV % = Coeficiente de variação em porcentagem; e F= valor de f calculado; S₁= Schumacher linear; Pr= Prodan; Lo= Logarítmico; P= Polinomial; e= Exponencial; S₂= Schumacher exponencial; CR= Chapman-Richards; SBa= Silva-Baley; W= Weibull; L= Levacovic II.



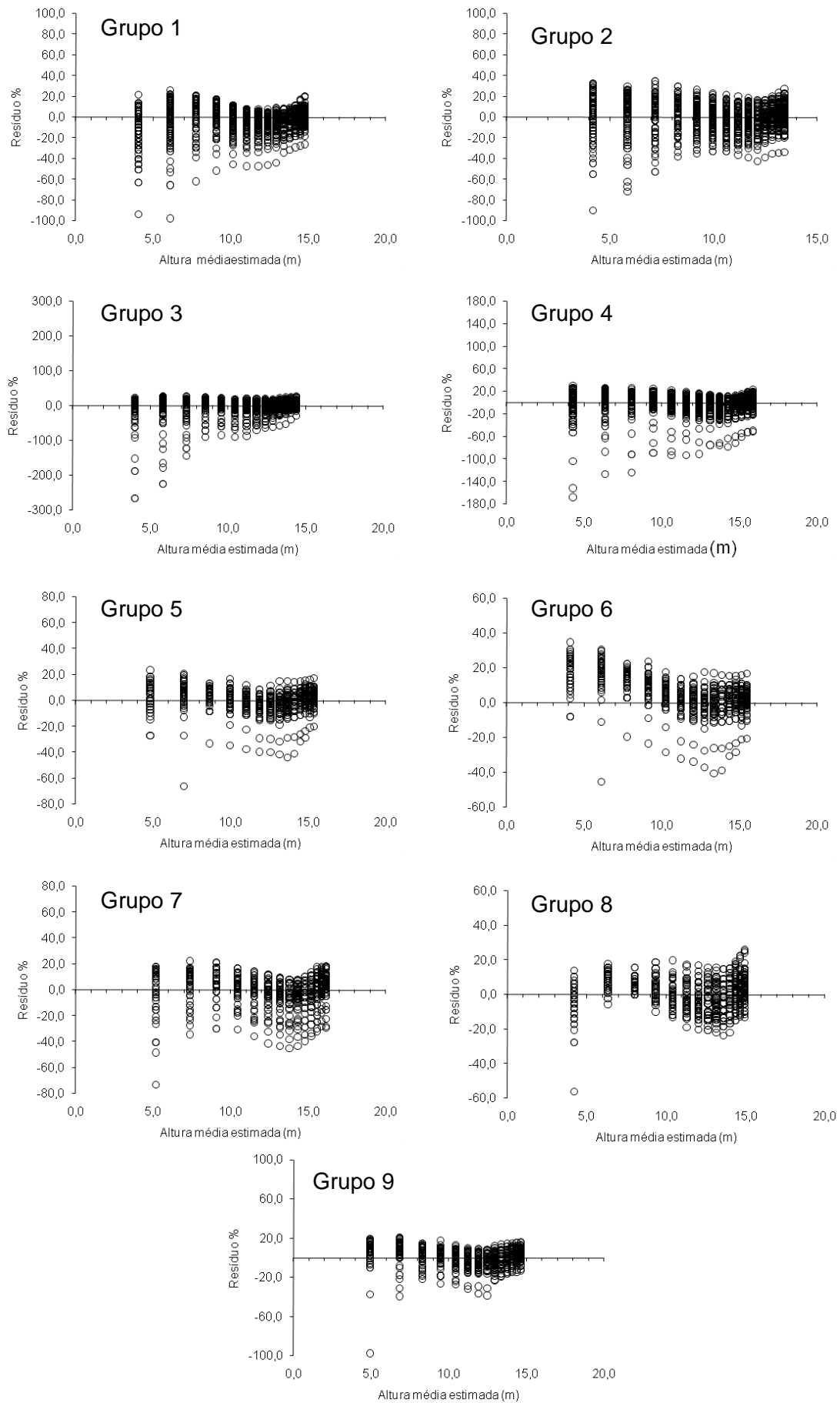
Fonte: Santos (2012).

Figura 17- Gráficos de resíduos (%) em função da altura estimada, para o modelo de Prodan testado em nove grupos de clones de *Eucalyptus* spp. cultivados em Araripina, Pernambuco.



Fonte: Santos (2012).

Figura 18- Gráficos de resíduos (%) em função da altura m estimada, para os modelos Chapman – Richards e Weibull de testado em nove grupos de clones de *Eucalyptus* spp. cultivados em Araripina, Pernambuco.



Fonte: Santos (2012).

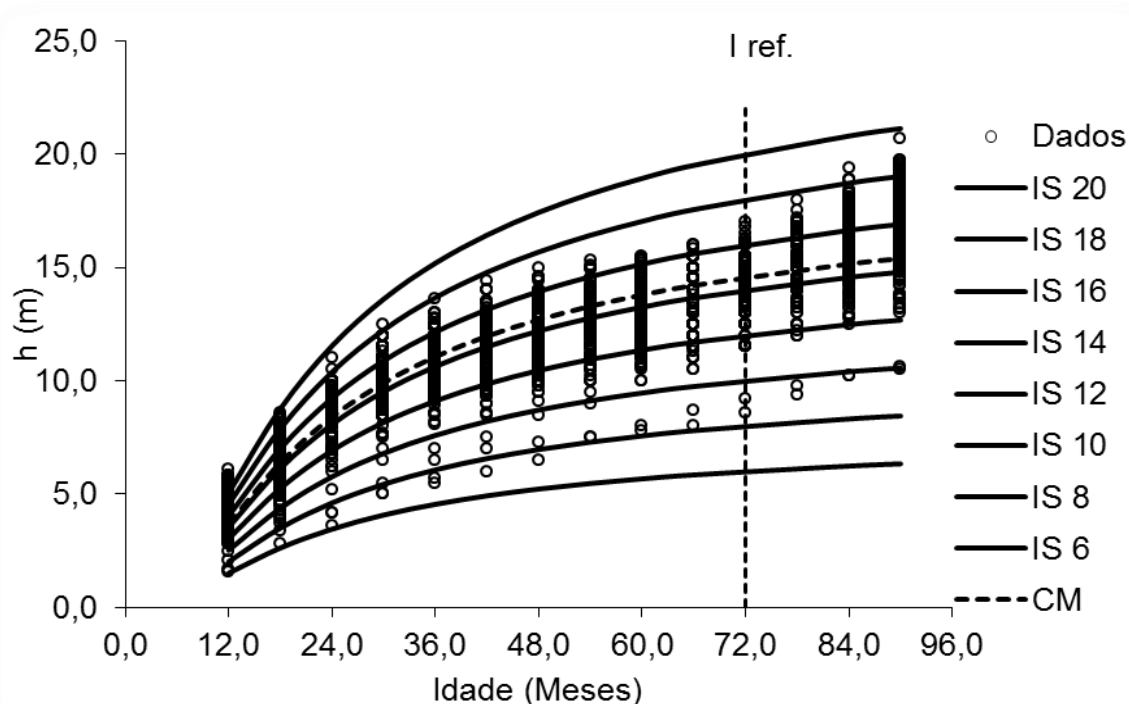
Figura 19- Gráficos de resíduos (%) em função da altura estimada, para o modelo de Levacovic II testado em nove grupos de clones de *Eucalyptus* spp. cultivados em Araripina, Pernambuco.

APÊNDICE K - Índices de sítio determinados através do método da curva guia (curva média) para o grupo 1, com idade de referência de 72 meses.

Idade (Meses)	Altura								
	CM	6	8	10	12	14	16	18	20
12	3,7	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,6	5,1
18	6,4	2,6	3,5	4,4	5,3	6,1	7,0	7,9	8,8
24	8,4	3,5	4,6	5,8	6,9	8,1	9,2	10,4	11,5
30	9,9	4,1	5,4	6,8	8,2	9,5	10,9	12,2	13,6
36	11,1	4,6	6,1	7,6	9,1	10,6	12,2	13,7	15,2
42	12,0	4,9	6,6	8,2	9,9	11,5	13,1	14,8	16,4
48	12,7	5,2	7,0	8,7	10,5	12,2	13,9	15,7	17,4
54	13,3	5,5	7,3	9,1	10,9	12,8	14,6	16,4	18,2
60	13,8	5,7	7,6	9,5	11,4	13,3	15,1	17,0	18,9
66	14,2	5,9	7,8	9,8	11,7	13,7	15,6	17,6	19,5
72	14,6	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0
78	14,9	6,1	8,2	10,2	12,3	14,3	16,3	18,4	20,4
84	15,2	6,2	8,3	10,4	12,5	14,6	16,6	18,7	20,8
90	15,4	6,3	8,5	10,6	12,7	14,8	16,9	19,0	21,1

Fonte: Santos (2012).

Em que: CM= Curva média.



Fonte: Santos (2012).

Figura 20- Curvas de índice de sítio para o grupo 1, utilizando a equação de Schumacher, em experimento de clones de *Eucalyptus* spp. no Polo Gesseiro do Araripe, Araripina, Pernambuco.

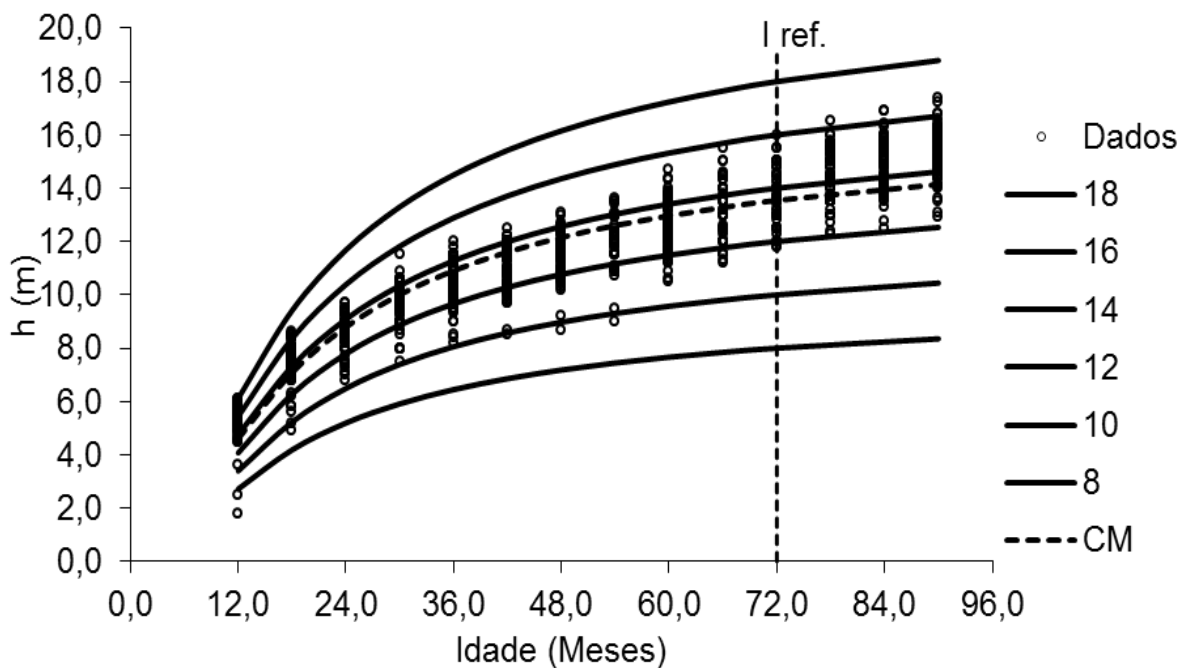
Em que: I ref.= Idade de Referência; CM= Curva média.

APÊNDICE L - Índices de sítio determinados através do método da curva guia (curva média) para o grupo 2, com idade de referência de 72 meses.

Idade (Meses)	Altura						
	CM	8	10	12	14	16	18
12	4,6	2,7	3,4	4,1	4,8	5,4	6,1
18	7,1	4,2	5,2	6,3	7,3	8,4	9,4
24	8,8	5,2	6,5	7,8	9,1	10,4	11,7
30	10,0	5,9	7,4	8,9	10,3	11,8	13,3
36	10,9	6,4	8,1	9,7	11,3	12,9	14,5
42	11,6	6,9	8,6	10,3	12,0	13,7	15,4
48	12,2	7,2	9,0	10,8	12,6	14,4	16,2
54	12,6	7,4	9,3	11,2	13,0	14,9	16,7
60	13,0	7,7	9,6	11,5	13,4	15,3	17,2
66	13,3	7,8	9,8	11,8	13,7	15,7	17,6
72	13,5	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0
78	13,8	8,1	10,2	12,2	14,2	16,3	18,3
84	14,0	8,3	10,3	12,4	14,4	16,5	18,6
90	14,1	8,4	10,4	12,5	14,6	16,7	18,8

Fonte: Santos (2012).

Em que: CM= Curva média.



Fonte: Santos (2012).

Figura 21- Curvas de índice de sítio para o grupo 2, utilizando a equação de Schumacher, em experimento de clones de *Eucalyptus* spp. no Polo Gesseiro do Araripe, Araripina, Pernambuco.

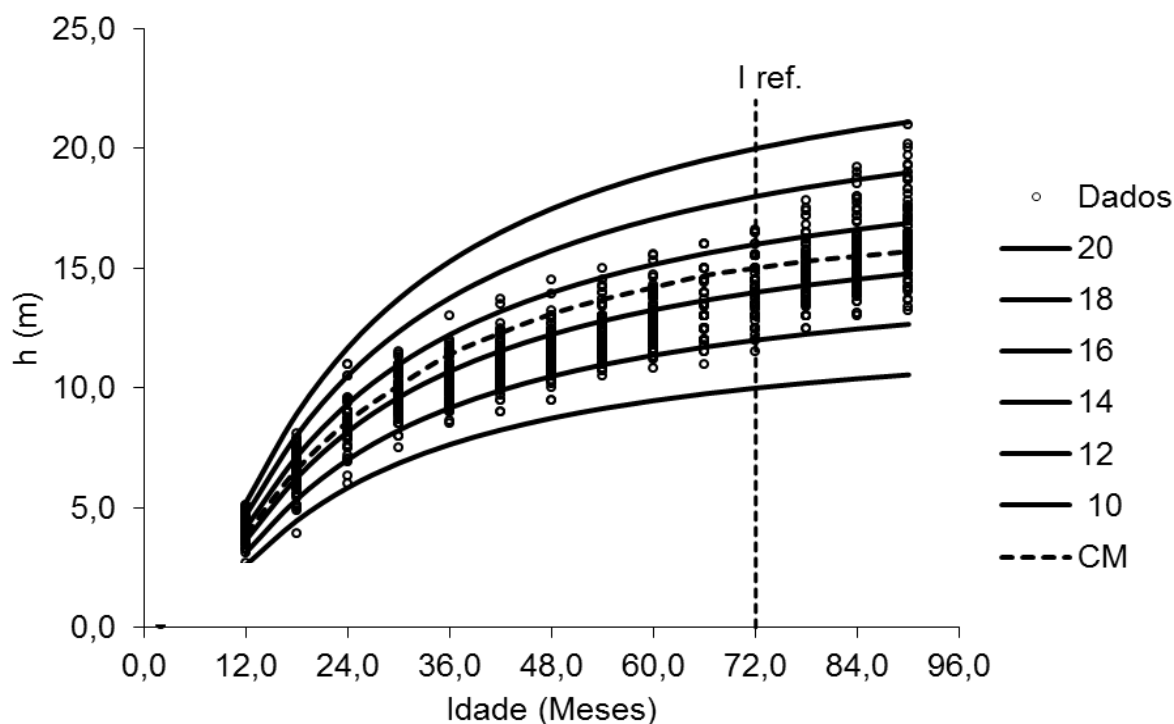
Em que: I ref.= Idade de referência; IS= Índice de sítio; CM= Curva média.

APÊNDICE M - Índices de sítio determinados através do método da curva guia (curva média) para o grupo 3, com idade de referência de 72 meses.

Idade (Meses)	Altura								
	CM	6	8	10	12	14	16	18	20
12	3,7	1,6	2,1	2,6	3,1	3,7	4,2	4,7	5,2
18	6,3	2,7	3,6	4,5	5,4	6,3	7,1	8,0	8,9
24	8,2	3,5	4,7	5,8	7,0	8,2	9,3	10,5	11,7
30	9,6	4,1	5,5	6,9	8,2	9,6	11,0	12,4	13,7
36	10,7	4,6	6,1	7,6	9,2	10,7	12,2	13,8	15,3
42	11,6	5,0	6,6	8,3	9,9	11,6	13,2	14,9	16,5
48	12,3	5,2	7,0	8,7	10,5	12,2	14,0	15,7	17,5
54	12,8	5,5	7,3	9,1	11,0	12,8	14,6	16,5	18,3
60	13,3	5,7	7,6	9,5	11,4	13,3	15,2	17,1	19,0
66	13,7	5,9	7,8	9,8	11,7	13,7	15,6	17,6	19,5
72	14,0	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0
78	14,3	6,1	8,2	10,2	12,3	14,3	16,3	18,4	20,4
84	14,6	6,2	8,3	10,4	12,5	14,5	16,6	18,7	20,8
90	14,8	6,3	8,4	10,6	12,7	14,8	16,9	19,0	21,1

Fonte: Santos (2012).

Em que: CM= Curva média.



Fonte: Santos (2012).

Figura 22- Curvas de índice de sítio para o grupo 3, utilizando a equação de Schumacher, em experimento de clones de *Eucalyptus* spp. no Polo Gesseiro do Araripe, Araripina, Pernambuco.

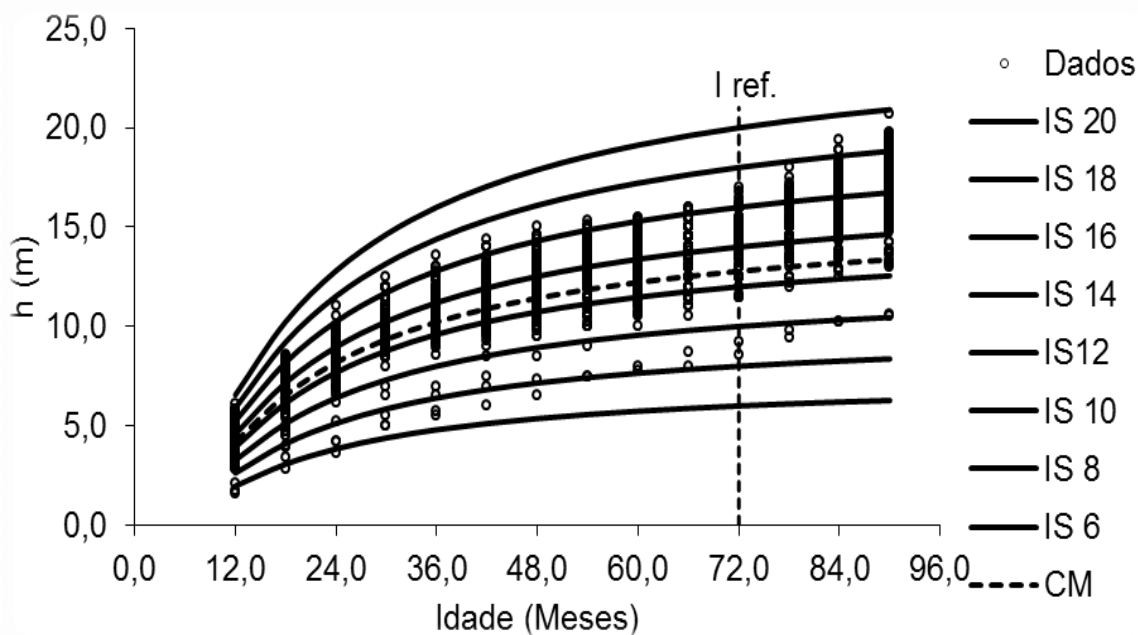
Em que: I ref.= Idade de referência; IS= Índice de sítio; CM= Curva média.

APÊNDICE N - Índices de sítio determinados através do método da curva guia (curva média) para o grupo 4, com idade de referência de 72 meses.

Idade (Meses)	Altura								
	CM	6	8	10	12	14	16	18	20
12	4,2	2,0	2,6	3,3	3,9	4,6	5,2	5,9	6,6
18	6,5	3,1	4,1	5,1	6,1	7,2	8,2	9,2	10,2
24	8,2	3,8	5,1	6,4	7,7	9,0	10,2	11,5	12,8
30	9,4	4,4	5,9	7,3	8,8	10,2	11,7	13,2	14,6
36	10,2	4,8	6,4	8,0	9,6	11,2	12,8	14,4	16,0
42	10,9	5,1	6,8	8,5	10,2	11,9	13,6	15,3	17,1
48	11,4	5,4	7,2	8,9	10,7	12,5	14,3	16,1	17,9
54	11,9	5,6	7,4	9,3	11,1	13,0	14,9	16,7	18,6
60	12,2	5,7	7,7	9,6	11,5	13,4	15,3	17,2	19,1
66	12,5	5,9	7,8	9,8	11,8	13,7	15,7	17,6	19,6
72	12,8	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0
78	13,0	6,1	8,1	10,2	12,2	14,2	16,3	18,3	20,3
84	13,2	6,2	8,3	10,3	12,4	14,5	16,5	18,6	20,6
90	13,4	6,3	8,4	10,5	12,5	14,6	16,7	18,8	20,9

Fonte: Santos (2012).

Em que: CM= Curva média.



Fonte: Santos (2012).

Figura 23. Curvas de índice de sítio para o grupo 4, utilizando a equação de Schumacher, em experimento de clones de *Eucalyptus* spp. no Polo Gesseiro do Araripe, Araripina, Pernambuco.

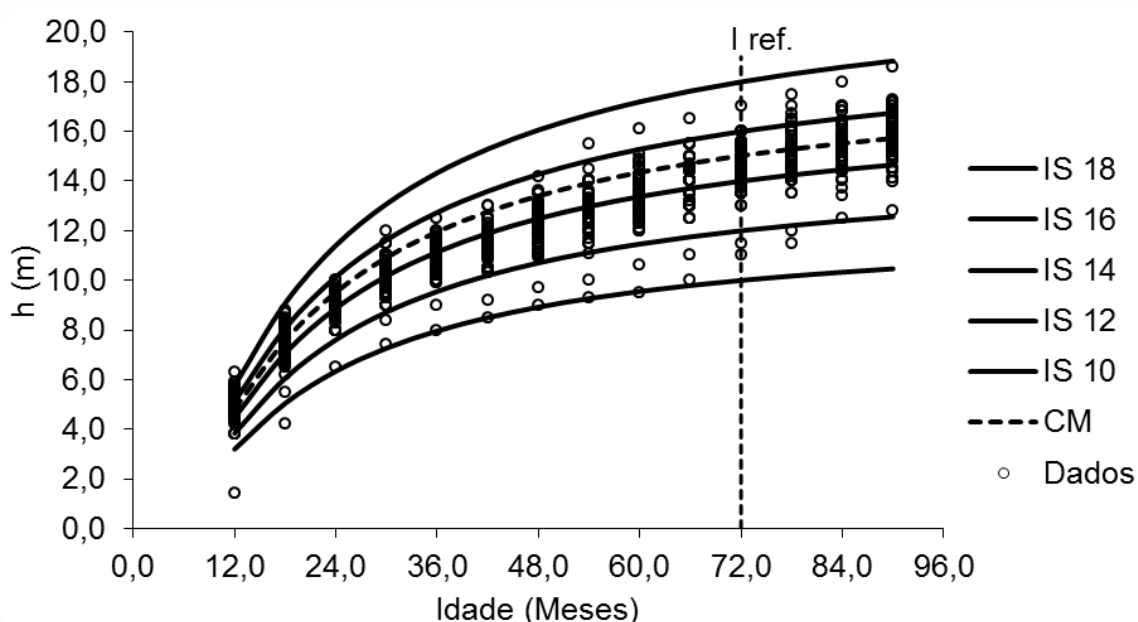
Em que: I ref.= Idade de referência; IS= Índice de sítio; CM= Curva média.

APÊNDICE O - Índices de sítio determinados através do método da curva guia (curva média) para o grupo 5, com idade de referência de 72 meses.

Idade (Meses)	Altura						
	CM	8	10	12	14	16	18
12	4,8	2,6	3,2	3,8	4,5	5,1	5,8
18	7,6	4,0	5,0	6,1	7,1	8,1	9,1
24	9,5	5,1	6,3	7,6	8,9	10,1	11,4
30	10,9	5,8	7,3	8,7	10,2	11,6	13,1
36	12,0	6,4	8,0	9,6	11,1	12,7	14,3
42	12,8	6,8	8,5	10,2	11,9	13,6	15,3
48	13,4	7,1	8,9	10,7	12,5	14,3	16,1
54	13,9	7,4	9,3	11,1	13,0	14,8	16,7
60	14,4	7,6	9,6	11,5	13,4	15,3	17,2
66	14,7	7,8	9,8	11,8	13,7	15,7	17,6
72	15,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0
78	15,3	8,1	10,2	12,2	14,2	16,3	18,3
84	15,5	8,3	10,3	12,4	14,5	16,5	18,6
90	15,7	8,4	10,5	12,6	14,7	16,7	18,8

Fonte: Santos (2012).

Em que: CM= Curva média.



Fonte: Santos (2012).

Figura 24. Curvas de índice de sítio para o grupo 5, utilizando a equação de Schumacher, em experimento de clones de *Eucalyptus* spp. no Polo Gesseiro do Araripe, Araripina, Pernambuco.

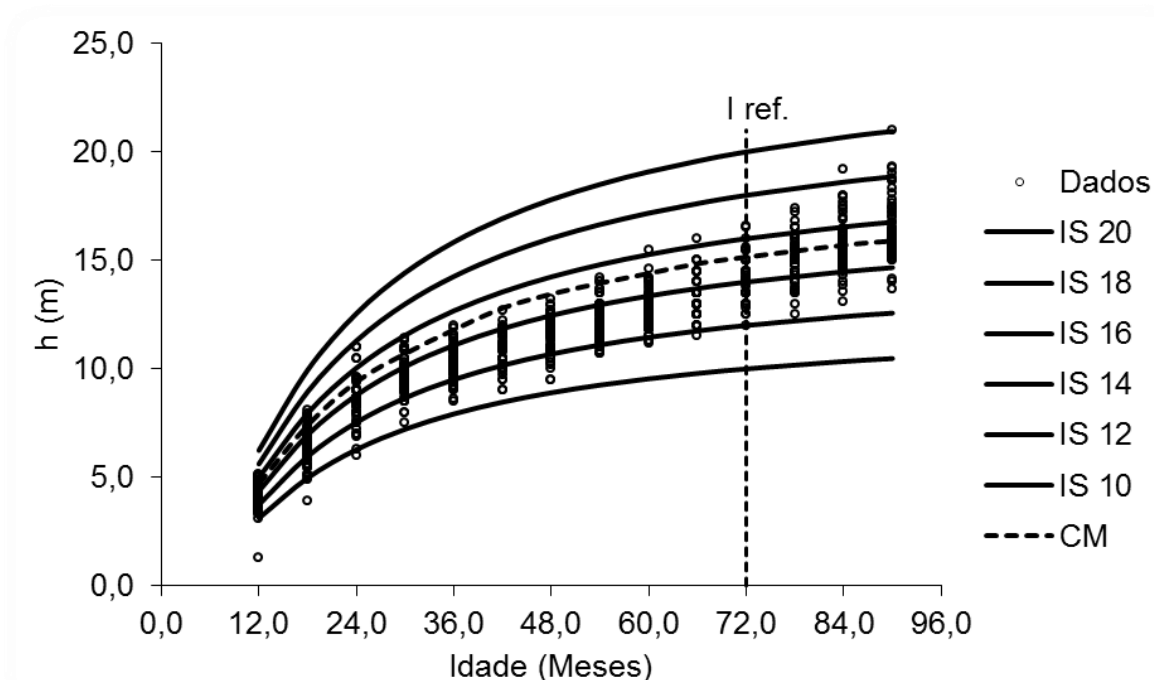
Em que: I ref.= Idade de referência; IS= Índice de sítio; CM= Curva média.

APÊNDICE P - Índices de sítio determinados através do método da curva guia (curva média) para o grupo 6, com idade de referência de 72 meses.

Idade (Meses)	Altura						
	CM	10	12	14	16	18	20
12	4,5	3,1	3,7	4,4	5,0	5,6	6,2
18	7,1	5,0	6,0	7,0	8,0	8,9	9,9
24	9,0	6,3	7,5	8,8	10,0	11,3	12,6
30	10,3	7,2	8,7	10,1	11,5	13,0	14,4
36	11,4	7,9	9,5	11,1	12,7	14,3	15,8
42	12,1	8,5	10,2	11,9	13,5	15,2	16,9
48	12,8	8,9	10,7	12,5	14,2	16,0	17,8
54	13,3	9,3	11,1	13,0	14,8	16,7	18,5
60	13,7	9,5	11,5	13,4	15,3	17,2	19,1
66	14,0	9,8	11,7	13,7	15,7	17,6	19,6
72	14,3	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0
78	14,6	10,2	12,2	14,3	16,3	18,3	20,4
84	14,8	10,3	12,4	14,5	16,5	18,6	20,7
90	15,0	10,5	12,6	14,7	16,8	18,9	21,0

Fonte: Santos (2012).

Em que: CM= Curva média.



Fonte: Santos (2012).

Figura 25. Curvas de índice de sítio para o grupo 6, utilizando a equação de Schumacher, em experimento de clones de *Eucalyptus* spp. no Polo Gesseiro do Araripe, Araripina, Pernambuco.

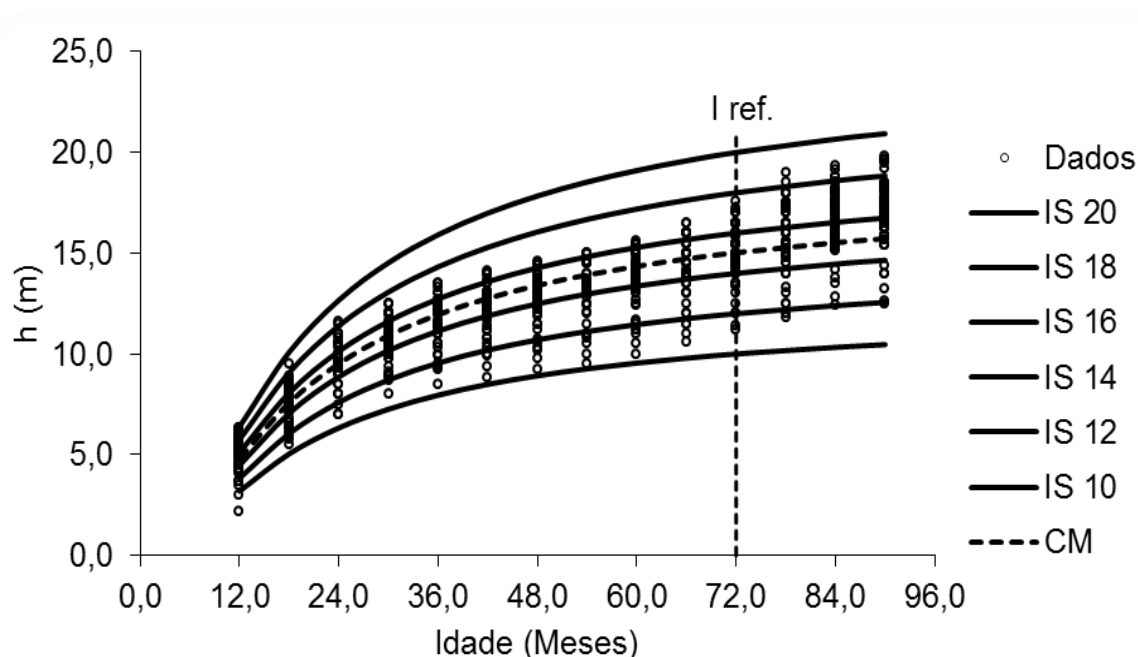
Em que: I ref.= Idade de referência; IS= Índice de sítio; CM= Curva média.

APÊNDICE Q - Índices de sítio determinados através do método da curva guia (curva média) para o grupo 7, com idade de referência de 72 meses.

Idade (Meses)	Altura média						
	CM	10	12	14	16	18	20
12	4,8	3,2	3,8	4,5	5,1	5,8	6,4
18	7,6	5,0	6,1	7,1	8,1	9,1	10,1
24	9,5	6,3	7,6	8,9	10,1	11,4	12,7
30	10,9	7,3	8,7	10,2	11,6	13,1	14,5
36	12,0	8,0	9,6	11,1	12,7	14,3	15,9
42	12,8	8,5	10,2	11,9	13,6	15,3	17,0
48	13,4	8,9	10,7	12,5	14,3	16,1	17,8
54	13,9	9,3	11,1	13,0	14,8	16,7	18,5
60	14,4	9,6	11,5	13,4	15,3	17,2	19,1
66	14,7	9,8	11,8	13,7	15,7	17,6	19,6
72	15,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0
78	15,3	10,2	12,2	14,2	16,3	18,3	20,4
84	15,5	10,3	12,4	14,5	16,5	18,6	20,7
90	15,7	10,5	12,6	14,7	16,7	18,8	20,9

Fonte: Santos (2012).

Em que: CM= Curva média.



Fonte: Santos (2012).

Figura 26. Curvas de índice de sítio para o grupo 7, utilizando a equação de Schumacher, em experimento de clones de *Eucalyptus* spp. no Polo Gesseiro do Araripe, Araripina, Pernambuco.

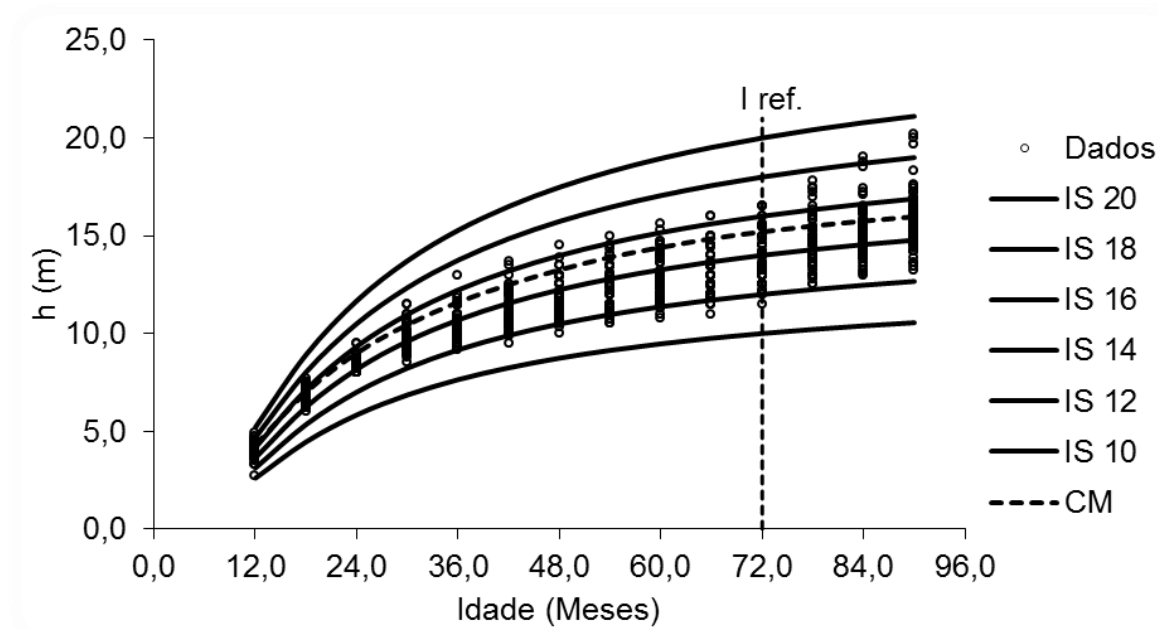
Em que: I ref.= Idade de referência; IS= Índice de sítio; CM= Curva média.

APÊNDICE R - Índices de sítio determinados através do método da curva guia (curva média) para o grupo 8, com idade de referência de 72 meses.

Idade (Meses)	Altura média						
	CM	10	12	14	16	18	20
12	4,3	2,8	3,3	3,9	4,4	5,0	5,5
18	7,0	4,6	5,5	6,5	7,4	8,3	9,2
24	9,0	6,0	7,2	8,4	9,6	10,8	12,0
30	10,4	7,0	8,4	9,8	11,2	12,6	13,9
36	11,6	7,7	9,3	10,8	12,4	13,9	15,5
42	12,5	8,3	10,0	11,6	13,3	15,0	16,6
48	13,3	8,8	10,6	12,3	14,1	15,8	17,6
54	13,8	9,2	11,0	12,8	14,7	16,5	18,4
60	14,4	9,5	11,4	13,3	15,2	17,1	19,0
66	14,8	9,8	11,7	13,7	15,6	17,6	19,5
72	15,1	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0
78	15,4	10,2	12,2	14,3	16,3	18,4	20,4
84	15,6	10,4	12,4	14,5	16,6	18,7	20,7
90	15,9	10,5	12,6	14,7	16,8	19,0	21,1

Fonte: Santos (2012).

Em que: CM= Curva média.



Fonte: Santos (2012).

Figura 27. Curvas de índice de sítio para o grupo 8, utilizando a equação de Schumacher, em experimento de clones de *Eucalyptus* spp. no Polo Gesseiro do Araripe, Araripina, Pernambuco.

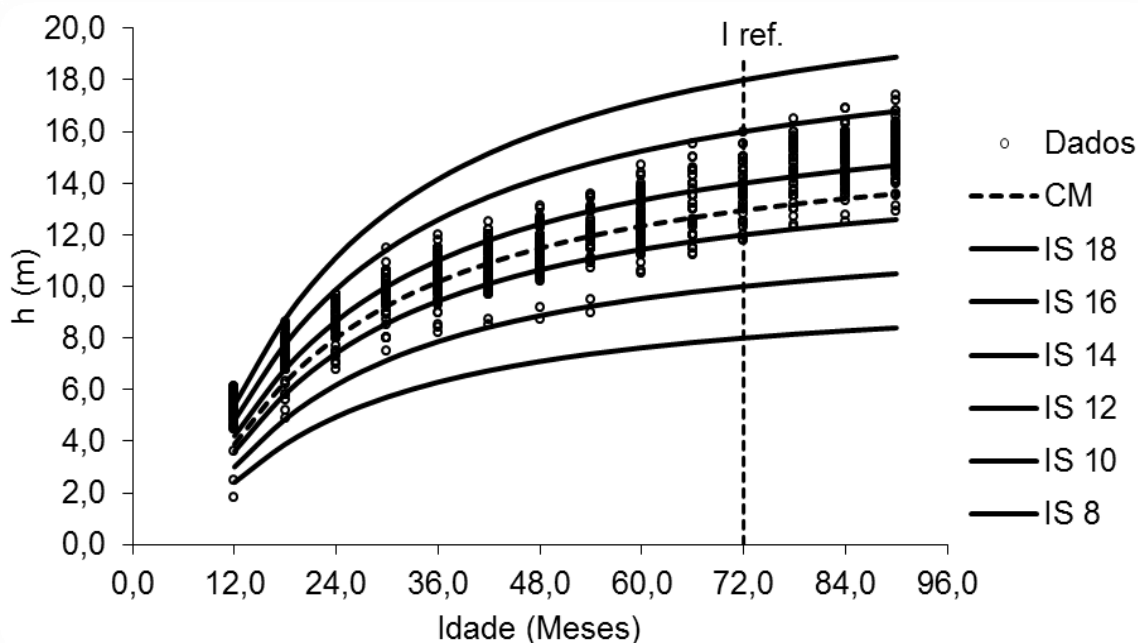
Em que: I ref.= Idade de referência; IS= Índice de sítio; CM= Curva média.

APÊNDICE S - Índices de sítio determinados através do método da curva guia (curva média) para o grupo 9 com idade de referência de 72 meses.

Idade (Meses)	Altura						
	CM	8	10	12	14	16	18
12	3,9	2,4	3,0	3,6	4,2	4,8	5,4
18	6,3	3,9	4,9	5,8	6,8	7,8	8,8
24	8,0	4,9	6,2	7,4	8,7	9,9	11,1
30	9,2	5,7	7,1	8,6	10,0	11,4	12,9
36	10,2	6,3	7,9	9,4	11,0	12,6	14,2
42	10,9	6,7	8,4	10,1	11,8	13,5	15,2
48	11,5	7,1	8,9	10,6	12,4	14,2	16,0
54	12,0	7,4	9,2	11,1	12,9	14,8	16,6
60	12,3	7,6	9,5	11,4	13,3	15,2	17,2
66	12,7	7,8	9,8	11,7	13,7	15,7	17,6
72	12,9	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0
78	13,2	8,1	10,2	12,2	14,3	16,3	18,3
84	13,4	8,3	10,3	12,4	14,5	16,6	18,6
90	13,6	8,4	10,5	12,6	14,7	16,8	18,9

Fonte: Santos (2012).

Em que: CM= Curva média.



Fonte: Santos (2012).

Figura 28. Curvas de índice de sítio para o grupo 9, utilizando a equação de Schumacher, em experimento de clones de *Eucalyptus* spp. no Polo Gesseiro do Araripe, Araripina, Pernambuco.

Em que: I ref.= Idade de referência; IS= Índice de sítio; CM= Curva média.