



**UNIVERSIDADE
EDUARDO MONDLANE**

**FACULDADE DE AGRONOMIA E ENGENHARIA
FLORESTAL**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
Projecto Final**

**AJUSTE E VALIDAÇÃO DE EQUAÇÕES DE HIPSOMÉTRICAS
PARA *Pinus elliottii* var. *elliottii* NA FLORESTA DE
INHAMACARI**

Autor:

Obadias Alexandre Ângelo Wate

Supervisor:

Doutor Eng^o. Agnelo dos Milagres Fernandes

Maputo, Setembro de 2014

ÍNDICE	PÁG
DEDICATÓRIA.....	I
AGRADECIMENTOS.....	II
RESUMO.....	III
LISTA DE TABELAS.....	IV
LISTA DE FIGURAS.....	V
LISTA DE ANEXO.....	VI
LISTA DE ABREVIATURAS.....	VII
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Problemas e Justificação do Estudo.....	3
1.2. Objectivos.....	4
1.2.1. Objectivo geral.....	4
1.2.2. Objectivos específicos.....	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. Equações hipsométricas	5
2.1.1. Factores que influenciam a relação hipsométrica.....	7
2.1.1.1. Idade.....	7
2.1.1.2. Sítio.....	7
2.1.1.3. Densidade.....	8
2.1.1.4. Posição sociológica.....	9

2.1.2. Tipos de equações hipsométricas.....	9
2.1.2.1. Equações hipsométricas de uma entrada.....	9
2.1.2.2. Equações hipsométricas de duas entradas.....	9
2.1.3. Modelos estudados.....	10
2.2. Descrição de espécie.....	12
2.2.1. Característica da espécie.....	12
2.2.2. Distribuição.....	13
2.2.3. Ecologia.....	13
2.2.4. Usos.....	13
3. METODOLOGIA.....	14
3.1. Descrição da área de estudo.....	14
3.1.1. Localização geográfica e limites.....	14
3.1.2. Clima.....	15
3.1.3. Solos.....	15
3.1.4. Vegetação.....	15
3.2. Colheita de dados e Amostragem.....	15
3.3. Ajuste dos Modelos.....	16
3.4. Modelos ajustados.....	16
3.5. Critérios de selecção dos melhores modelos.....	17
3.5.1. Valor de F.....	17
3.5.2. Coeficiente de determinação ajustado (R ² %).....	18

3.5.3. Desvio padrão dos resíduos (Syx%).....	19
3.5.4. Resíduos Médios.....	20
3.5.5. Análise gráfica dos resíduos (%).....	21
3.6. Validação das equações seleccionadas	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
4.1. Descrição dos dados.....	23
4.2. Curva hipsométrica.....	23
4.3. Dispersão dos dados.....	24
4.4. Análise de Correlação.....	25
4.5. Ajuste das equações.....	26
4.6. Selecção das melhores equações	28
4.7. Análise gráfica dos resíduos.....	29
4.8. Validação	32
5. CONCLUSÃO.....	34
7. RECOMENDAÇÕES.....	35
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36
ANEXOS.....	40

Dedicatória

Dedico este trabalho com muito amor e carinho aos meus pais, Ângelo Jeremis Wate (em memória), Ilda Cristovão Pondja e ao pai Simão Lourenço, aos meus padrinhos Bento Chaique e Esperança Chaique, a minha avó Alice Magaia, a minha tia Evita (em memória), meus irmãos, Chiquinho, Dércio, Nilza, Djimo, Vaninho, aos meus sobrinhos, Edilson, Lulu, Mãe, Kiki, Shanaia, Tinyico, e o puto Nazry, aos meus primos(as), Laura Machava, Paito, Ivone, Gelly, Mimi, Yone, Júnior ea todos aqueles que directa ou indirectamente contribuíram para minha formação académica.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus pela força e inspiração que tive durante o curso e na elaboração do trabalho.

Ao meu supervisor, Doutor Eng^o. Agnelo dos Milagres Fernandes pela paciência durante a elaboração do trabalho, e todo o Departamento de Engenharia Florestal.

A todos técnicos de CEFLOMA pelo apoio durante o levantamento de dados no campo.

A todos meus colegas e amigos, Artur Titos, Francisco Varela, Carlos Chirindza, Eusébio Mavie, Amélia Muchanga, Faruk Tavares, Elton Sacugy, Armando Vaz, Valdo Frechauth, Felismino Chocoma, Hélder Maleique, Geraldina Gungulo, Sérgio De Deus, Clemente Cumbane, Luís Domingos, Aurélio Pais, Domingos Sigaúque, Francisco Pascoal (em memória), David Langa, Hernani Cardoso, Sérgio Sigaúque, Farnelio, Antoninho, Herinques e Betinho.

Agradeço a minha namorada Milva Ricardo pelo apoio, motivação, companherismo e muito mais.

A toda minha família, especialmente aos meus pais por terem-me encorajado e apoiado incondicionalmente.

A todos aqueles que contribuíram para que este trabalho se tornasse uma realidade, e que directa ou indirectamente participaram.

Meu muito obrigado

RESUMO

O presente trabalho foi desenvolvido com o propósito de determinar a melhor equação hipsométrica para estimativa de altura para espécie *Pinus elliottii*, na floresta de Inhamacari, Distrito de Manica, Província de Manica numa extensão de aproximadamente a 6 km, à Sul pela vila do Posto Administrativo de Machipanda.

Os dados foram colhidos no povoamento de *Pinus elliottii* de 28 anos de idade, com árvores amostradas que cresceram em povoamentos manejados para produção de madeira serrada. A cubagem das 45 árvores foi feita pelo método relativo de Hohenadl, tomando-se as medidas relativas dos diâmetros a 0%, 5%, 15%, 25%, 35%, 45%, 55%, 65%, 75%, 85%, 95% e 100% da altura total do fuste, não considerando a altura do cepo. Para definir a altura total de cada fuste, foi considerando o diâmetro mínimo do topo de 10 cm.

Com estes dados, desenvolveram-se diferentes equações hipsométricas, tendo sido selecionadas as melhores usando o valor de F, coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj(\%)}$), desvio padrão da estimativa em percentagem ($S_{yx(\%)}$), índice de furnival em percentagem ($IF(\%)$), teste de resíduos médios, análise gráfica de resíduos e para a validação usou-se o método gráfico e o teste *Qui-quadrado* (X^2).

Das equações hipsométricas, a que melhor se ajustou a equação foi, $\frac{DAP}{\sqrt{hE}} = b_0 + b_1 * DAP + b_2 * DAP^2$, com o valor de coeficiente de determinação ($R^2_{aj(\%)} = 78,148$), desvio padrão de resíduos ($S_{xy(\%)} = 9,252$), valor de F ($F = 79,677$), e valor dos resíduos médios ($RM = -2,96 \times 10^{-16}$), e valor t calculado menor que o valor t crítico.

LISTA DE TABELAS

PÁG

Tabela 1. Modelos hipsométricos ajustados.....	16
Tabela 2. Estatística descritiva do diâmetro da altura do peito (DAP) e altura (ht).....	23
Tabela 3. Correlação linear entre altura, DAP.....	25
Tabela 4. Análise de regressão dos modelos testados de relações hipsométricas.....	27
Tabela 5. Equações de regressão selecionadas da hipsometria para análise gráfica dos resíduos.....	28
Tabela 6. Valores de X^2 calculado e X^2 crítico da equação selecionada.....	32

LISTA DE FIGURAS	PÁG
Figura 1. Localização geográfica da floresta de Inhamacari.....	14
Figura 2. Distribuição média de alturas em diferentes classes de DAP.....	23
Figura 3. Gráfico de dispersão dos dados.....	24
Figura 4. Gráfico de resíduos para a equação do modelo 1.....	30
Figura 5. Gráfico de resíduos para a equação do modelo 12.....	31
Figura 6. Gráfico de resíduos para a equação do modelo 10.....	31
Figura 7. Gráfico de erros de predição do modelo selecionado.....	33

LISTA DE ANEXO	PÁG
Anexo1. Ficha de campo.....	41
Anexo2. Equações usadas para o ajuste.....	42
Anexo3. Resultados de análise de regressão das equações hipsométricas ajustados.....	43
Anexo 4. Distribuição gráfica dos resíduos dos modelos 1, 10 e 12.....	47
Anexo 5. Dados usados para a validação do modelo seleccionado.....	48

LISTA DE ABREVIATURAS

cm	Centímetros
CV	Coeficiente de variação
DAP	Diâmetro à Altura do Peito
D0.i	Diâmetro relativo
DNTF	Direcção Nacional de Terras e Florestas
Ht	Altura total
Hi	Altura relativa
m	Metros

1. INTRODUÇÃO

Em Moçambique, actualmente estimava-se que a área de plantações de espécies exóticas de rápido crescimento é de aproximadamente 51.716,00 hectares (DNTEF, 2014). Elas encontravam-se maioritariamente na zona Norte com uma área de 33.649,00 hectares, sobretudo na província do Niassa com 31.149,00 hectares e na zona centro com 18.067,00 hectares. Em virtude dos vários projetos de plantações florestais que estão sendo desenvolvidos no País recentemente, espera-se que nos próximos anos haja um aumento na área ocupada pelas plantações de espécies de rápido crescimento (DNTEF, 2014).

Na busca de alternativas para atender a crescente demanda dos produtos florestais, especialmente para a produção de madeira serrada e diminuir a pressão exercida sobre o recurso florestal nativo, é preciso o estabelecimento de plantações com espécies de rápido crescimento, entre elas a espécie *Pinus elliottii*.

As plantações florestais com espécies exóticas de rápido crescimento desempenham um papel importante no desenvolvimento socioeconómico do nosso país, visto que elas fornecem combustível lenhoso às populações, material de construção, postes e matéria-prima para indústria madeireira (LEITE *et al.*, 2006).

A altura de uma árvore é uma medida dendrométrica importante para a determinação do volume da árvore e conseqüentemente para a determinação do volume do povoamento florestal (BILA, 2011). A altura da árvore é medida directamente no campo, recorrendo-se à sua estimação indirecta pela utilização de uma relação hipsométrica (BILA, 2011).

A relação hipsométrica é a regressão da altura sobre o diâmetro em um povoamento em determinada data, podendo ser representada por um ajuste matemático, (MACHADO, *et al.*, 1993). Essa relação é comumente simbolizada por “h/d” e denominada relação hipsométrica (FINGER, 1992).

A relação diâmetro e altura tem sido estudada por diversos pesquisadores, através da utilização de um grande número de modelos matemáticos, os quais se mostram mais ou menos eficientes em função da composição do povoamento e qualidade de sítio (CALDEIRA, *et al.*, 2002).

O procedimento comum mais utilizado para estimativa da altura por árvore é o emprego de equações hipsométricas em que a altura constitui a variável dependente, estando a variável independente comumente representada pelo diâmetro à altura do peito (MACHADO *et al.* 2002 citado por OLIVEIRA, 2010).

Especificamente, para a determinação de equações hipsométricas, os procedimentos utilizados para obtenção das mesmas, convergem na seleção das árvores que comporão a amostra, seleção dos modelos a serem testados, ajuste dos modelos e critérios para a seleção do melhor modelo (OLIVEIRA, 2010). Sobretudo, de acordo com FINGER (1992) e SCOLFORO (1997) citados por OLIVEIRA (2010), estes modelos apresentam a seguinte divisão: equações de simples entrada ou local, equações de dupla entrada ou regional e equações de tripla entrada ou mais entradas.

Nas equações de simples entrada, a altura gerada por este tipo de equação é em função de apenas uma variável, sendo esta o diâmetro à altura do peito (DAP). Adota-se este procedimento quando há elevada relação hipsométrica, ou seja, há uma forte correlação entre essas variáveis de modo que se possa explicar a altura através do diâmetro (TOMÉ, *et al.*, 2007).

Na maioria dos inventários florestais é frequente efectuar medições dos diâmetros de todas as árvores de parcelas e a altura (quando medida) de parte delas. Esse conjunto de dados é então utilizado para estabelecer uma relação de regressão da altura em função do diâmetro, que será usada para estimar a altura das demais árvores da parcela em função dos diâmetros já medidos. O uso de equações hipsométricas em inventários tem sido cada vez mais frequente, tornando-o mais económico e, na maioria das vezes, tão preciso quanto ao realizado medindo-se a altura de todas as árvores da parcela (MACHADO, *et al.*, 1993).

A necessidade de implantar o planeamento florestal torna necessário o estudo das relações hipsométricas, pois esta possibilita conhecer com precisão a altura das árvores indirectamente, reduzindo o tempo e o custo do levantamento de dados no inventário florestal (CALDEIRA, *et al.*, 2002).

1.1. Problemas e Justificação do Estudo

Nos inventários de florestas plantadas o Diâmetro à Altura do Peito (DAP), constitui uma variável de fácil medição, enquanto que, a variável “altura” constitui uma das variáveis mais complicadas de efectuar a sua medição, dado que requer um bom conhecimento e prática no manuseio dos instrumentos da sua medição (hipsômetro) que por sua vez pode levar a vários erros. Em outras variantes, recorre-se ao abate da árvore, e nesta, é imperioso que a árvore abatida tenha certa finalidade geradora de benefícios ou então, pode constituir um desperdício da matéria-prima. O outro factor inerente a sua medição é o tempo despendido para efectuar a tal operação que é bastante longo, isto é, os nossos inventários são demorados representando parte significativa no custo total de medição o que por sua vez incrementa em uma boa margem o custo de produção do inventário.

Com o intuito de reduzir os custos e incrementar a velocidade de execução durante a colecta de dados referentes ao diâmetro e altura em inventário florestal as relações hipsométricas desempenham um papel fundamental. Desde que seja estabelecida uma relação hipsométrica é possível estimar a variável altura das árvores de uma determinada área ou povoamento à partir da medição do DAP, variável fácil de medição (SILVA, 1980 citado por BARROS, *et al.*, 2002), reduzindo assim o custo do trabalho, tornando-o, mais rápido e muitas vezes mais preciso e livre de tendenciosidades, uma vez que os erros são minimizados ao medir-se a altura de poucas árvores.

O diâmetro a altura do peito (DAP) e a altura total são variáveis importantes na estimativa de volumes de árvores de um povoamento, portanto, há necessidade de determinar estes parâmetros com melhor precisão possível e as equações hipsométricas facilitam bastante na determinação da altura. A determinação inadequada destas variáveis pode constituir numa sobrestimação ou subestimação dos resultados, o que, pode implicar num planeamento inadequado das actividades de manejo.

1.2. Objectivos

1.2.1. Objectivo geral

- ✚ Determinar a melhor equação hipsométrica para estimativa da altura para espécie *Pinus elliottii* var. *elliottii*.

1.2.2. Objectivos específicos

- ✚ Ajustar as equações hipsométricas;
- ✚ Seleccionar as melhores equações hipsométricas;
- ✚ Validar a melhor equação hipsométrica, ajustada para estimativa de altura para a espécie *Pinus elliottii* var. *elliottii*.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Equações hipsométricas

Denomina-se relação hipsométrica a relação existente entre a altura e o diâmetro das árvores, na qual, a associação existente entre essas duas variáveis permite determinar funções estatísticas para descrever a altura como variável resposta a partir do diâmetro da árvore, sem perda significativa de precisão, trazendo grande vantagem pela diminuição do tempo gasto no levantamento de dados, com conseqüente redução de custos (FINGER *et al.*, 2000).

De acordo com SOUSA *et al.* (s.d), uma relação hipsométrica tem como variável dependente a altura da árvore, normalmente a altura total, podendo, contudo, se trabalhar com a altura comercial. Como variável independente é o DAP, sendo empregada, em alguns casos, a idade, a altura dominante e combinações dessas variáveis.

A relação hipsométrica é uma opção de trabalho controvertida, mas de grande utilização. É um aspecto de grande importância a ser considerado na colheita de informações, sendo de grande utilidade prática principalmente em populações com árvores de grande porte (CALDEIRA *et al.*, 2003).

As relações matemáticas possibilitam obter estimativas de forma indirecta através de equações de regressão (SCHNEIDER, 1998). De acordo com o mesmo autor, a análise de regressão tem sido usada com ênfase na solução de grande parte dos problemas florestais, especialmente quando se pretende obter estimativas de parâmetros da floresta com o mínimo de custo e tempo.

Ajustar uma regressão linear simples “equação de uma recta”, significa, na prática, obter os seus coeficientes: linear e angular da recta. Nesse caso, o coeficiente angular, que dá a inclinação da recta, é representado por (b_1) e o coeficiente linear, que é a ordenada do ponto em que a recta corta o eixo das ordenadas, é representado por (b_0) (VIEIRA, 1980, citado por SANQUETTA *et al.*, 2009).

A relação hipsométrica mesmo em povoamentos de mesma idade varia com a qualidade do sítio e com a densidade. Em tais circunstâncias, uma única relação hipsométrica ajustada para todo o povoamento englobaria muitas relações diferentes, resultando em alta variabilidade em torno da linha de regressão da altura sobre o diâmetro (PRODAN *et al.*, 1997 citado BARTOSZECK *et al.*, 2004). Por isso, um procedimento usado em inventários florestais para solucionar esse problema tem sido ajustar equações independentes para cada unidade amostral ou, então, para cada grupo homogêneo de parcelas em termos de idade, sítio e densidade. Dependendo dos factores considerados, a curva dessa relação pode variar quanto à forma, inclinação e origem (intercepto).

De acordo com AZEVEDO (2009), uma baixa relação da variável dependente (altura) com a independente (diâmetro), ou seja, árvores com diâmetro grande apresentaram alturas pequenas e árvores com diâmetro pequeno apresentaram alturas grandes, pode ser explicada pelo facto desse povoamento apresentar árvores de idades diferentes, sem um espaçamento definido e sem ocorrência de tratos silviculturais, como desrama e desbaste, o que o torna mais heterogêneo.

A listagem de vários modelos matemáticos para ajustes da curva h/d, no meio florestal, começou a partir de Trorey (MACHADO *et al.*, 2008). De acordo com o mesmo autor, actualmente, existem modelos modificados que incluem variáveis como: idade, sítio, densidade e altura dominante, denominados por BARROS *et al.* (2002) e CARDOSO *et al.* (1989) como “genéricos”, chamados assim por incluírem em seus ajustes as influências das variáveis anteriormente citadas. Para se chegar a um modelo matemático que descreva a relação hipsométrica de uma árvore ou população qualquer, deve-se testar vários modelos e seleccionar aquele de melhor ajuste segundo o critério de seleção usado (MACHADO *et al.*, 2008).

2.1.1. Factores que influenciam a relação hipsométrica

De acordo com BARROS *et al.* (2002), os factores que influenciam as relações hipsométricas são: a idade, sítio, densidade, posição sociológica, tamanho da copa e da espécie.

2.1.1.1. Idade

Para BARTOSZECK *et al.* (2004), a evolução das curvas de relação hipsométrica (h/d) é maior nas idades iniciais, suavizando e deslocando-se ligeiramente para cima e para a direita ao longo do tempo. À medida que aumenta a idade, as curvas que descrevem a relação altura–diâmetro deslocam-se para cima e para direita, tornando-se mais aplainadas, à medida que vão acompanhando o crescimento em diâmetro e altura, sendo as curvas nas idades jovens mais íngremes em relação as curvas nas idades mais velhas. Sobretudo, a forma da curva pode fornecer uma indicação sobre o desenvolvimento e fase de crescimento do povoamento florestal (MACHADO *et al.*, 2006).

2.1.1.2. Sítio

Em bons sítios, as melhores condições locais aceleram o crescimento, favorecendo a formação de classes sociológicas. Nestes sítios, tem-se uma curva de altura íngreme, enquanto que em sítios pobres as curvas para uma mesma espécie são mais achatadas (ZANON *et al.*, 1996). Nesse sentido, CARDOSO (1989) em *Pinus taeda* e MACHADO *et al.* (1994) em *Pinus elliottii* citado por BARTOSZECK *et al.* (2004), verificaram haver forte efeito do sítio somente sobre o coeficiente de intersecção das linhas de regressão na maioria das classes de idade de plantações, sendo as linhas crescentes do pior para o melhor sítio e, portanto, estatisticamente paralelas entre si (mesmo b_1).

CHAPMAN *et al.* (1949) citado por MACHADO *et al.* (2008), afirmaram que quando se constrói uma curva para diferentes sítios ou idades, a curva hipsométrica mostrará uma grande variabilidade em altura para um mesmo diâmetro. Devido a essa grande variabilidade de alturas, para uma mesma classe de diâmetro para povoamentos ou florestas de idade mais avançada, a relação hipsométrica não é uma relação dendrométrica muito forte, resultando normalmente em coeficientes de determinação (R^2) baixos e $Sy_{x(\%)}$ altos (MACHADO *et al.*, 1993).

2.1.1.3. Densidade

De acordo com TONON, (1998), citado por BARTOSZECK *et al.* (2004), a densidade quer seja inicial ou actual, exerce um forte efeito sobre o crescimento em diâmetro das árvores que compõem o povoamento, porém pouco ou quase nenhum efeito sobre o crescimento em altura, especialmente o das árvores dominantes.

O uso de um espaçamento adequado em plantações florestais constitui um elemento fundamental para a obtenção de um crescimento máximo com melhor qualidade e menor custo. O espaçamento para além de influenciar a densidade básica, tem um efeito significativo na rectidão e conicidade do tronco (SCOLFORO, 1998).

O grau de afilamento do fuste das árvores tende a aumentar com o aumento do espaçamento, devido à manutenção de uma maior altura da copa e, conseqüentemente, um maior diâmetro da base da copa (FIGUEIREDO FILHO, 1999).

As árvores plantadas em espaçamentos maiores tendem a crescer mais rapidamente em diâmetro do que aquelas plantadas em espaços menores, portanto, tenderão a ter maior conicidade, pois em povoamentos menos densos, ocorre uma distribuição desequilibrada do incremento ao longo do fuste de forma que a competição não melhora a qualidade das árvores, afectando deste modo a sua qualidade (FRIEDL, 1989).

Na relação altura e diâmetro podem-se considerar duas situações: a primeira refere-se a povoamentos em sítios bem definidos, bem formados e conduzidos. Nesta situação espera-se uma correlação alta entre as variáveis diâmetro e altura, pois haverá maior homogeneidade na população considerada (SCOLFORO, 1997 citado por CALDEIRA *et al.*, 2003).

Na segunda situação, em povoamentos mais antigos, mal formados ou mal conduzidos, ou em sítios não muito bem definidos. Nesta situação, espera-se uma correlação baixa entre as variáveis diâmetro e altura. Ocorrendo então, uma maior heterogeneidade na população considerada (SCOLFORO, 1997 citado por CALDEIRA *et al.*, 2003).

2.1.1.4. Posição sociológica

A relação entre altura e diâmetro depende fundamentalmente da posição sociológica da árvore no povoamento, e que difere da posição sociológica da árvore dentro das classes. Esta curva mostra ser mais inclinada em povoamentos jovens equiâneos de sítios bons, porém, em sítios pobres, torna-se mais plana. De acordo com AZEVEDO (1999), a inclinação da curva de altura é característica para cada espécie. SCOLFORO (1997) citado por CALDEIRA *et al.* (2003), afirma que, o comprimento da copa também influencia a relação hipsométrica, pois quanto maior for a copa menor será a razão h/d.

2.1.2. Tipos de equações hipsométricas

As equações hipsométricas classificam-se em equações de uma entrada, de duas entradas e de três entradas.

2.1.2.1. Equações hipsométricas de uma entrada

Nestas equações, a altura é geralmente em função apenas do diâmetro, sendo estas ajustadas para aplicação no povoamento onde foi feita a recolha de dados. Este tipo de relação é muito utilizada em manejo florestal para o cálculo do volume das árvores e dos povoamentos (RONDEUX, 1993).

2.1.2.2. Equações hipsométricas de duas entradas

Para uma dada espécie, a relação altura-diâmetro de um povoamento pode variar em função do tempo ou idade, da altura média, da altura dominante, do diâmetro médio, da qualidade da estação e da densidade. Destas dependências e para aplicação generalizada à uma região, surgem as relações hipsométricas gerais que são vulgarmente utilizadas em modelos de produção. Estas relações permitem estimar a altura em função do diâmetro e de vários parâmetros do povoamento: altura dominante, índice de qualidade, idade, diâmetro médio, densidade (ALMEIDA & MARQUES, 2006).

2.1.3. Modelos estudados

A literatura florestal apresenta uma grande quantidade de modelos de relação hipsométrica com as mais variadas formas. Dentre os inúmeros modelos existentes, foram selecionados 20 para a análise neste estudo, os quais são apresentados na Tabela 1 (vêr pág. 16).

Os modelos 4,5 e 6 são polinômios do 1º, 3º e 2º grau, respectivamente. Os modelos polinomiais possuem pouco ou nenhum significado biológico quando aplicados as curvas de crescimento, mas são utilizados em função da facilidade do seu ajuste. O modelo linear simples (polinômio do 1º grau) apresenta ajustes razoáveis da curva altura-diâmetro somente em situações muito particulares, enquanto que os polinômios de 2º e 3º graus são mais flexíveis (BAPTISTA *et al.*, 2001). Entretanto, de acordo com o mesmo autor, a representação da curvatura da relação altura-diâmetro nestes modelos é bastante artificial, pois a extrapolação para regiões ligeiramente fora da amplitude da amostra de ajuste pode resultar em grandes erros na estimativa da altura.

O modelo 10, embora seja frequentemente apresentado na literatura como modelo distinto, é na prática variante de dois modelos hiperbólicos básicos. Se o erro estatístico do modelo for eliminado e o modelo for matematicamente manipulado, encontra-se como forma funcional básica deste modelo a seguinte expressão hiperbólica:

$$Y = \frac{X^2}{a+bX^2} \qquad Y = \frac{X^2}{a+bX+cX^2}$$

Estas duas expressões, por sua vez, são derivadas de um dos mais antigos modelos de crescimento proposto por Hossfeld em 1822, que tem a seguinte forma (BAPTISTA *et al.*, 2001):

$$Y = \frac{X^2}{a+bX^2}$$

De acordo com ZEIDE (1993) citado por BAPTISTA *et al.* (2001), vários dos modelos de crescimento florestal mais acurados são derivados deste modelo que tem propriedades muito desejáveis para um modelo de crescimento, sendo que: passa pela origem, tem ponto de inflexão e assíntota.

A forma de ajuste do modelo, portanto, tem forte influência na estimativa dos parâmetros, sendo guiada pela forma da variável resposta no modelo que efectivamente é utilizado na regressão linear.

Os modelos de potência têm forte apelo biológico. O modelo 8 é a própria expressão alométrica de uso generalizado nas ciências biológicas para modelar a relação entre as dimensões de um mesmo indivíduo. Seu uso como curva altura-diâmetro também se apoia na teoria da similaridade elástica, que expressa o diâmetro mínimo necessário para sustentar uma árvore sem ruptura em função de uma potência da altura (O'BRIEN *et al.*, 1995 citado por BAPTISTA *et al.*, 2001). Além do uso como relação hipsométrica, a expressão alométrica também se faz presente em outros modelos florestais como, por exemplo, a equação volumétrica de Schumacher-Hall (PRODAN 1968 citado por BAPTISTA *et al.* (2001).

O modelo 19 é bastante utilizado na modelagem da altura em função da idade para a construção de curvas de índice de sítio. Tendo sido originalmente proposto por Schumacher em 1939 para modelar o crescimento da altura (CLUTTER *et al.* 1983 citado por BAPTISTA *et al.* 2001), este modelo é um caso particular do modelo exponencial geral

$$Y = ae^{-bx^{-c}}$$

onde o parâmetro $c = 1$. Segundo ZEIDE (1993) citado por BAPTISTA *et al.* (2001), este modelo geral foi proposto independentemente por Korf, também em 1939, para modelar o crescimento em altura de árvores na Tchecoslováquia, mas tem-se mostrado muito eficiente para modelar o crescimento em diâmetro quando muitas árvores de espécies e locais diferentes são agrupadas e o crescimento médio é modelado em função da idade.

Os modelos 8 e 19 propostos por Stoffels e Van Soest respectivamente foram estudados dado que obtiveram melhor performance para a estimativa da altura total e da altura do fuste em função do DAP, na sua forma logarítmica ou aritmética, num estudo desenvolvido por MACHADO *et al.* (2008), sobre o comportamento da relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia*.

O modelo 11, aqui designado por “semi-logarítmico”, não é de uso muito comum nos estudos de relação hipsométrica. Entretanto, ele foi indicado por Curtis (1967) como um modelo a ser estudado, pois é de ajuste fácil e não apresenta estimativas irreais para a altura de grandes árvores, tendo como única desvantagem poder apresentar estimativas negativas para altura de árvores muito pequenas (BAPTISTA *et al.*, 2001).

Segundo BAPTISTA *et al.* (2001), o modelo 12 considerado hiperbólico, na prática tem comportamento mais próximo ao modelo 10. A forma de ajuste do modelo, portanto, tem forte influência na estimativa dos parâmetros, sendo guiada pela forma da variável resposta no modelo que efectivamente é utilizado na regressão linear.

A grande maioria dos modelos utilizados para analisar a relação altura-diâmetro em árvores são modelos originalmente propostos para o estudo do crescimento. Entretanto, biologicamente a altura não é uma função do diâmetro, pois ambos crescem simultaneamente com a idade. Salientar também que todos os modelos aqui analisados tem constituído objecto de estudo de vários pesquisadores.

2.2. Descrição de espécie

2.2.1. Característica da espécie

Pinus elliottii é uma espécie exótica, que pertence à família pinaceae. A sua árvore de rápido crescimento, mas não muito duradouro em relação ao padrão dos *Pinus silvestres* (cerca de 200 anos), prefere clima e solos húmidos. Distingui-se do *Pinus taeda* por ser maior, com folhas mais arredondadas e pinhas maiores; e do *Pinus palustris* por ser mais curto, ter agulhas mais finas e pinhas mais curtas. De grande porte com altura entre 18 m e 30 m (SHIMIZU, 2005).

O fuste é recto, cilíndrico, com diâmetro entre 0,1 m e 0,6 m. Com casca sulcada e acinzentada em indivíduos jovens e marrom-avermelhada em indivíduos adultos, com placas escamadas (SHIMIZU, 2005). Segundo o mesmo autor, a madeira tem o cerne e alburno indistintos pela cor, branco-amarelado, brilho moderado, cheiro e gosto distintos e característicos (resina), grã direita; textura fina; densidade baixa, macia ao corte. A folha é do tipo aciculada, muito fina, formato de agulha, resistente e firme, de coloração verde-brilhante e com a margem finamente serrilhada, comprimento entre 18 cm e 24 cm (SHIMIZU, 2005).

2.2.2. Distribuição

Pinus elliottii é uma espécie composta de duas variedades distintas: *Pinus elliottii* var. *elliottii* e *Pinus elliottii* var. *densa*, que possui como região de ocorrência natural o Estado de Carolina do Sul até o Oeste do Estado da Louisiana, em uma estreita faixa próxima ao Oceano Atlântico do Sudoeste dos Estados Unidos (SHIMIZU, 2005).

Em Moçambique as plantações florestais, encontram-se nas regiões centro e norte, das quais 16 % das plantações florestais na província de Manica, sendo as espécies do género *Pinus* as mais abundantes, maioritariamente usadas para a produção de madeira serrada (DNTEF, 2014).

2.2.3. Ecologia

Tem preferência natural por solos ácidos e arenosos, localizados em baixas e junto a cursos de água, bem como, áreas com lençol freático próximo à superfície. Os solos mais recomendáveis são podzólicos e os latossolos mais argilosos. A temperatura média anual de origem oscila entre 15°C e 24°C, e os índices de precipitação variam de 650 a 2500 mm por ano, e um período seco de no máximo 4 meses. É tolerante a ventos e elevados teores de sal (LAMPRECHT, 1990).

2.2.4. Usos

Pinus elliottii var. *elliottii*, é uma espécie bastante versátil no seu uso, podendo ser usada para o paisagismo, construção civil, indústria, mobiliário e outros fins (LAMPRECHT, 1990). A madeira de *Pinus elliottii* var. *elliottii* é usada na construção civil, no fábriço de andaimes, formas para concreto, ripas, partes secundárias de estruturas, rodapés, etc. No paisagismo é usado para a arborização urbana: praças e parques, arborização decorativa: pequenas árvores podadas e miniaturas ornamentais em vasos (CARVALHO, 1994).

Na indústria, a resina do pinus é usada para a produção de tintas, vernizes, sabões, colas, graxas, esmaltes, ceras, adesivos, desinfetantes, isolantes térmicos e terebintina (na produção de corantes, vedantes para madeira, reagentes químicos, cânfora sintética, desodorantes, insecticidas, líquidos de limpeza, etc). Por ter fibras longas é bastante utilizado na produção de celulose para fabricação de embalagens (CARVALHO, 1994). É usado também na produção de compensados, laminados, cabos para vassouras, palitos de fósforos, brinquedos e pellets.

3. METODOLOGIA

3.1. Descrição da área de estudo

3.1.1. Localização geográfica e limites

A floresta de Inhamacari localiza-se no posto administrativo de Machipanda, no Distrito de Manica, fazendo fronteira com a República do Zimbábwè numa extensão de aproximadamente 6 km, à Sul pela vila do Posto Administrativo de Machipanda e numa latitude meridional de $18^{\circ} 55' 48''$ e $18^{\circ} 57' 56''$ e longitude oriental de $32^{\circ} 41' 52''$ e $32^{\circ} 44' 57''$ (CHAMBA,1994).

A elaboração do mapa da área do estudo, foi com o intuito de proporcionar uma visualização mais detalhada sobre a localização da área de estudo e os limites geográficos da mesma área, com base nas imagens obtidas a partir Google earth 2013, que se baseou num trac efectuado na área de estudo e posteriormente processado no argis 9.3.1, (ver figura 1).

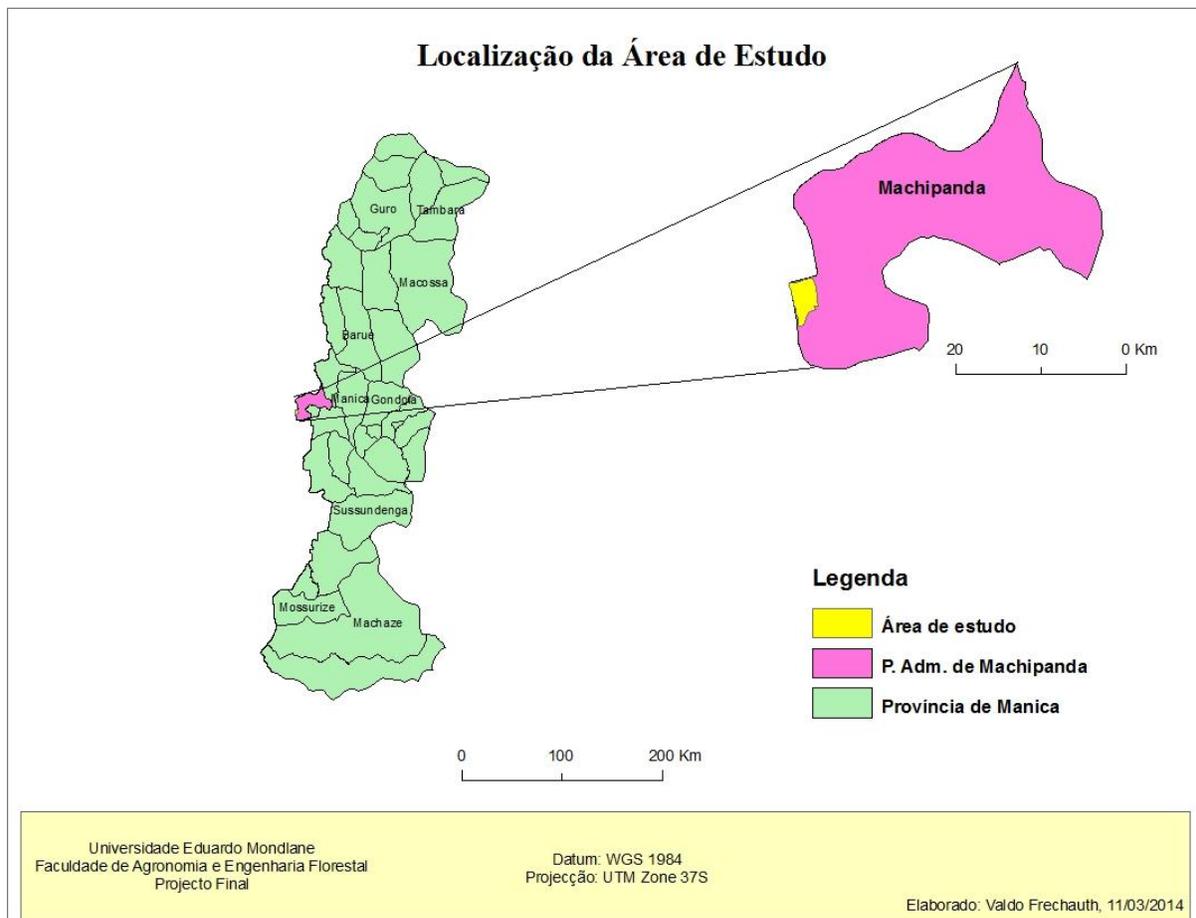


Figura 1. Localização geográfica da floresta de Inhamacari

3.1.2. Clima

O clima é tropical húmido, com uma precipitação média anual (PMA) que varia entre 1200 a 1600 mm/ano. A temperatura média anual (TMA) dos valores máximos do mês mais quente chega a atingir 30,9 °C e a mínima do mês mais frio atinge valores mínimos de 7,6 °C, com uma média anual de 21.1° C (CHAMBA, 1994).

3.1.3. Solos

Os solos dominantes na plantação são vermelhos a castanhos, arenosos a argilosos, óxidos e de textura média. São de fácil erosão e baixa retenção de água, sendo pobres para a agricultura. Por isso são utilizados para as florestas, estes são mais resistentes a erosão e mais tolerantes a seca relativamente as culturas agrícolas (CHAMBA, 1994).

3.1.4. Vegetação

A vegetação é caracterizada por florestas húmidas de montanha e miombo húmido, e plantações de *Eucalyptos e Pinus*, por sua vez, podendo apresentar uma composição vertical caracterizada por três estratos (herbáceo, arbustivo e arbóreo), sendo a *Pteleopsis myrtifolia*, *Erythrophleum*, *Newtonia* e *Millettia sp.* as espécies mais abundantes (MARIZOL, 2007).

3.2. Colheita de dados e Amostragem

No presente estudo foram cubadas 45 árvores de *Pinus elliottii var. elliottii*, cobrindo uma amplitude de 15 a 40 cm de DAP, com uma idade de 28 anos. A cubagem baseou-se no método relativo de Hohenadl, tomando-se as medidas relativas dos diâmetros a 0%, 5%, 15%, 25%, 35%, 45%, 55%, 65%, 75%, 85%, 95% e 100% da altura total do fuste, não considerando a altura do cepo (30 cm). Para definir a altura total de cada fuste, foi considerado o diâmetro mínimo do topo de 10 cm.

Os ajustes dos modelos foram feitos considerando-se o diâmetro a 1,3 m do solo (DAP), com casca, e as alturas totais. As medições foram realizadas com o emprego de uma suta.

3.3. Ajuste dos Modelos

Para o ajuste das equações hipsométricas (ver tabela 1), foi utilizado o software Microsoft Office Excel 2010, onde efectuou-se a análise de regressão das variáveis dependentes sobre as variáveis explanatórias.

3.4. Modelos ajustados

A partir dos diâmetros, obtidos através da cubagem e ou medição da altura de algumas árvores no campo, foi possível ajustar modelos hipsométricos para estimar as alturas das árvores do povoamento.

Dentre os inúmeros modelos existentes, para o presente estudo foram selecionados 20 modelos, sendo 13 aritméticos e 7 logarítmicos para análise, os quais são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Modelos hipsométricos ajustados

Equação	Modelos	Fonte/Ano
1	$\frac{DAP^2}{ht} = \beta_0 + \beta_1 * DAP$	Baptista <i>et al.</i> , (2001)
2	$ht = \beta_0 + \beta_1 * \ln \frac{1}{DAP^2}$	Caldeira <i>et al.</i> , (2003)
3	$\ln ht = \beta_0 + \beta_1 * \frac{1}{DAP} + \beta_2 * \frac{1}{DAP^2}$	Azevedo <i>et al.</i> , (1999)
4	$ht = \beta_0 + \beta_1 * DAP$	Baptista <i>et al.</i> , (2001)
5	$ht = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * DAP^2 + \beta_3 * DAP^3$	Baptista <i>et al.</i> , (2001)
6	$ht = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * DAP^2$	Caldeira <i>et al.</i> , (2003)
7	$ht = \beta_0 + \beta_1 * \frac{1}{DAP}$	Caldeira <i>et al.</i> , (2003)
8	$\ln ht = \beta_0 + \beta_1 * \ln DAP$	Caldeira <i>et al.</i> , (2003)
9	$\ln ht = \beta_0 + \beta_1 * \ln DAP + \beta_2 * \frac{1}{DAP}$	Azevedo <i>et al.</i> , (1999)
10	$\frac{DAP}{\sqrt{ht}} = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * DAP^2$	Baptista <i>et al.</i> , (2001)
11	$ht = \beta_0 + \beta_1 * \ln DAP$	Caldeira <i>et al.</i> , (2003)
12	$\frac{DAP^2}{ht} = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * DAP^2$	Baptista <i>et al.</i> , (2001)

13	$\ln ht = \beta_0 + \beta_1 * \ln \frac{1}{DAP}$	Baptista <i>et al.</i> , (2001)
14	$\frac{1}{ht} = \beta_0 + \beta_1 * \frac{1}{DAP} + \beta_2 * \frac{1}{DAP^2}$	Baptista <i>et al.</i> , (2001)
15	$\ln (ht - 1.3) = \beta_0 + \beta_1 * \ln DAP^2$	Caldeira <i>et al.</i> , (2003)
16	$ht = \beta_0 + \beta_1 * \frac{1}{DAP} + \beta_2 * DAP^2$	Azevedo <i>et al.</i> , (1999)
17	$ht = \beta_0 + \beta_1 * \frac{1}{DAP} + \beta_2 * \frac{1}{DAP^2}$	Barros <i>et al.</i> , (2002)
18	$ht = \beta_0 + \beta_1 * DAP^2$	Azevedo <i>et al.</i> , (1999)
19	$\ln ht = \beta_0 + \beta_1 * \frac{1}{DAP}$	Caldeira <i>et al.</i> , (2003)
20	$\ln ht = \beta_0 + \beta_1 * DAP^2$	Caldeira <i>et al.</i> , (2003)

Onde: DAP= diâmetro á altura do peito; ht= altura total; ln= logaritmo natural; bo, b1, b2, b3 = coeficientes.

3.5. Critérios de selecção dos melhores modelos

A selecção dos modelos foi baseada nos seguintes critérios: valor de F para $p < 0.05$, coeficiente de determinação ajustado ($R^2\%$), desvio padrão dos resíduos (Syx%), índice de furnival (IF%), análise gráfica dos resíduos e resíduos médios.

3.5.1. Valor de F

No processo de selecção de modelos de regressão, inicialmente observou-se o valor de F da regressão, pois este valor fornece a significância da regressão, isto é, verifica a significância dos valores de R^2 ajustados. Este valor é obtido pela divisão de 1º grau de liberdade do modelo matemático pelo valor da respectiva estatística F (CALDEIRA *et al.*, 2003). Quanto maior for o valor de F, maior é a sua significância e melhor ajuste. Para o cálculo deste valor usou-se a seguinte fórmula:

$$F = \frac{QMRegressao}{QMResidual} \quad (1)$$

Onde: QMRegressão- Quadrado médio da regressão, QMResidual-Quadrado médio residual (erro).

3.5.2. Coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj}\%$)

O coeficiente de determinação ($R^2_{aj}\%$), expressa a quantidade de variação da variável dependente que é explicada pelas variáveis independentes. Quanto mais próximo for o valor do ($R^2_{aj}\%$) de 100%, melhor terá sido o ajuste. Para o cálculo deste valor usou-se a seguinte fórmula:

$$R^2_{aj} = \frac{QMRegressao}{QMTotal} \quad (2)$$

O coeficiente é crescente e ou decrescente á medida que se inclui ou diminui uma nova variável explanatória ao modelo de regressão, por isso é perigoso de ser usado isoladamente como critério de selecção. Assim, ajustou-se ao número de coeficientes das equações, que é obtido pela expressão:

$$R^2_{aj}(\%) = 1 - \left(\frac{n-1}{n-p} \times \frac{SQ_{res}}{SQ_{total}} \right) \quad (3)$$

$$SQ_{res} = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y})^2 \quad (4)$$

$$SQ_{total} = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (5)$$

Onde: R^2_{aj} . = Coeficiente de determinação ajustado; n = Número de dados (tamanho da amostra); p = Número de Variáveis independentes do modelo em questão; Y_i = altura observada; \hat{Y} = altura estimada; \bar{Y} = altura média observada; SQ_{res} = Soma de quadrado do resíduo; SQ_{tot} = Soma de quadrado total.

3.5.3. Desvio padrão dos resíduos ($S_{yx}\%$)

O desvio padrão dos resíduos ($S_{yx}\%$) mede a dispersão média entre os valores observados e os valores estimados ao longo da regressão. Quanto mais baixo for o valor de $S_{yx}\%$, melhor será a precisão das estimativas, pois o valor indica o quão próximo os valores estimados estão dos valores observados (SCHMEIDER, 1998). Para o cálculo deste valor usou-se a seguinte fórmula:

$$S_{yx}\% = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n-p}} \times 100 \quad (6)$$

Onde: $S_{yx}\%$ = erro padrão da estimativa em percentagem; Y_i = altura observada; \hat{Y} = altura estimada; \bar{Y} = altura média observada; n = número de observações; p = número de coeficientes do modelo matemático.

O valor de desvios padrão das estimativas dos modelos aritméticos, quando comparado com os logarítmicos, esta estatística torna-se incompatível. Assim, para as equações hipsométricas, que trabalham na escala logarítmica, se tornou necessário calcular o Índice de Furnival, para posteriores comparações com o desvio padrão das estimativas dos modelos aritméticos. Assim, calcularam-se os valores estimados usando a seguinte equação:

$$VE = EXP^{(\ln(do.i) + \frac{(S_{yx})^2}{2})} \quad (7)$$

Onde: VE-Valor esperado da altura total; $\ln(do.i)$ - Valor da equação logaritmizada; S_{yx} - Desvio padrão da estimativa.

No cálculo de Índice de Furnival usou-se as seguintes fórmulas:

$$IF = e^{(\sum \ln VE/n)^*} S_{xy} \quad (8)$$

Em porcentagem pode ser representado pela seguinte expressão:

$$IF\% = \left(\frac{IF}{y} \right) x 100 \quad (9)$$

Onde: e = base do logaritmo natural, 2,718281828...; LnVE = valor estimado não modificado; S_{xy} = desvio padrão dos resíduos; n -número das observações.

3.5.4. Resíduos Médios

Os resíduos médios medem os erros do modelo, descrevendo a magnitude e o tamanho esperado da sobrestimativa ou subestimativa dos valores dos resíduos. O melhor modelo deve ter a estatística próxima de zero (MAGALHÃES, 2008). O teste sobre os resíduos médios serve para comparar os valores observados dos estimados, através da média residual, usando o teste t student. Quando a t_{cal} for menor que t_{crit} , conclui-se que os valores estimados pela regressão não diferem estatisticamente dos valores observados.

$$MRES\% = \frac{\sum (Y_i - \hat{Y}_i) / n}{\sum \hat{Y}_i / n} \cdot 100 \quad (10)$$

$$t_{cal} = \frac{MRES}{S_r} \quad (11)$$

$$t_{crit} = \text{tinv}(\alpha, n-1) \quad (12)$$

Onde: MRES- resíduos médios em porcentagem; Y_i - valor observado; \hat{Y}_i - valor estimado; n -tamanho da amostra; S_r - erro padrão residual; t_{cal} - t calculado; t_{crit} - t crítico; α - grau de significância a 5%.

3.5.5. Análise gráfica dos resíduos (%)

A análise gráfica dos resíduos é mais um indicativo para validar a utilização de um modelo num determinado local, indicando se a estimativa realmente é boa ao longo da linha de regressão, mostrando sua tendência e se a equação utilizada é realmente apropriada. Mesmo que todos os estimadores de ajuste sejam bons indicadores para a escolha do melhor modelo, a análise gráfica de resíduos é decisiva, pois permite detectar se os resíduos são independentes, e se há homogeneidade de variância. Como a avaliação gráfica é visual, pode envolver alguma subjectividade, por isso foi usada em conjunto com as estatísticas citadas anteriormente (BARROS *et al.*, 2002).

O uso dos resíduos na forma de percentagem, em função da variável dependente estimada, é o mais adequado para se ter uma melhor noção da dimensão das subestimativas e sobrestimativas do valor real e a comparação entre os diversos modelos ajustados (BARROS *et al.*, 2002).

Os resíduos absolutos foram obtidos com base na seguinte expressão:

$$\hat{e}_i = y_i - \hat{y}_i \quad (13)$$

Em percentagem pode ser representado pela seguinte expressão:

$$e\% = \left(\frac{y - \hat{y}}{y} \right) * 100 \quad (14)$$

Onde: \hat{e}_i - resíduos absolutos; y_i - valor observado; \hat{y}_i valor estimado

3.6. Validação das equações seleccionadas

As amostras para a validação devem ser independentes dos dados utilizados no ajuste, mas, estes devem ser provenientes de toda amplitude da amostra usada para o ajuste (MACHADO, 2008). De acordo com o mesmo autor, o processo consiste em estimar os valores dessas amostras pelas equações seleccionadas de melhor desempenho e comparar as estimativas com os respectivos valores reais, pelo teste qui - quadrado (χ^2).

O teste de qui - quadrado (χ^2) é um valor de dispersão para duas variáveis de escala nominal, e nos diz em que medida os valores observados se desviam dos valores esperados ou estimados. De acordo com WEBER (2007), quando o valor de χ^2 calculado é menor que o valor de χ^2 crítico, significa que deve se aceitar a hipótese nula (H_0), isto é, não ha diferenças significativas entre os conjuntos de dados comparados. Quanto maior o valor do χ^2 calculado maior é a diferença.

Para se realizar o processo de validação, usou-se 31% das unidades amostrais da base de dados (ver anexo 5), valores estes não usados no ajuste das equações.

No presente estudo utilizou-se um nível de confiança de 95% para verificar a existência de diferenças estatisticamente significativas entre os valores observados e os valores calculados. Para tal usou-se a seguinte formula:

$$\chi^2 = \sum \frac{(Vo - Vest)^2}{Vest} \quad (15)$$

Sendo: X^2 = qui-quadrado calculado; Vo. = valor observado; Vest. = valor estimado

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Descrição dos dados

A Tabela 2 ilustra as estatísticas com base nas medidas de tendência central (média, mediana, moda, mínimo e máximo), e medida de dispersão (variância e coeficiente de variação), para a variável altura total (Ht) e o diâmetro à altura do peito (DAP).

Tabela 2: Estatística descritiva do diâmetro da altura do peito (DAP) e altura (ht)

Parâmetros	Nr	Média	Mínimo	Máximo	Variância	Mediana	CV (%)
DAP (cm)	45	25,5	15	40	42,03	24	25,46
Ht (m)	45	19,8	7,2	25,6	19,07	21,1	22,05

De acordo com a tabela 2, pode-se verificar também que o diâmetro se mostrou mais variável que a altura, tendo obtido um CV de 25,46% para a variável DAP e 22,05% para a variável altura. Resultados similares foram obtidos por BATISTA *et al.* (2001) num estudo sobre o desempenho de modelos de relações hipsométricas para *Eucalyptus grandis*, tendo obtido um coeficiente de variação (CV) para o DAP de 29,73cm e para a altura de 20,18m.

4.2. Curva hipsométrica

A Figura 2 mostra a distribuição média de alturas em diferentes classes de DAP, no qual verificou-se que, a medida em que a altura aumenta o DAP também aumenta. Este aumento da altura ilustra o crescimento contínuo da curva à medida que se aumenta o DAP.

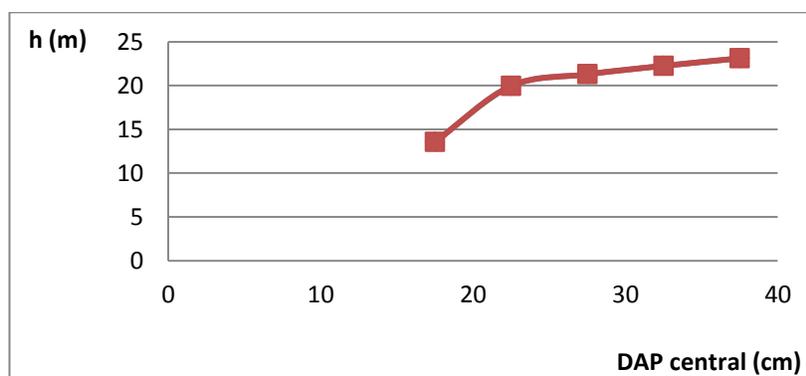


Figura 2. Distribuição média de alturas em diferentes classes de DAP

O tipo de distribuição que se verifica na figura 2 assemelha-se ao tipo normal, característico das florestas plantadas (MACHADO *et al.*, 2006). O mesmo autor afirma que em uma distribuição diamétrica de um povoamento florestal equiâneo puro proveniente de plantação, a mesma se aproxima à uma distribuição normal nas idades jovens. Porém com o passar dos anos, esta curva de distribuição vai se tornando cada vez mais assimétrica com deslocamento para a direita, aumentando-se cada vez mais a sua assimetria.

Resultados similares foram encontrados por CRECHI (1996) citado por BARTOSZECK *et al.*, (2004), em *Araucaria angustifolia*, em que, à medida em que aumenta a idade, as curvas que descrevem a relação altura-diâmetro deslocam-se para cima e para a direita, acompanhando o crescimento em diâmetro e altura, sendo as curvas nas idades jovens mais íngremes em relação às curvas nas idades mais velhas.

4.3. Dispersão dos dados

Com base no gráfico de dispersão verifica-se uma maior nuvem de indivíduos no intervalo de 15 à 35 cm de DAP. Também, a maioria dos indivíduos medidos apresentava uma altura superior à 15m.

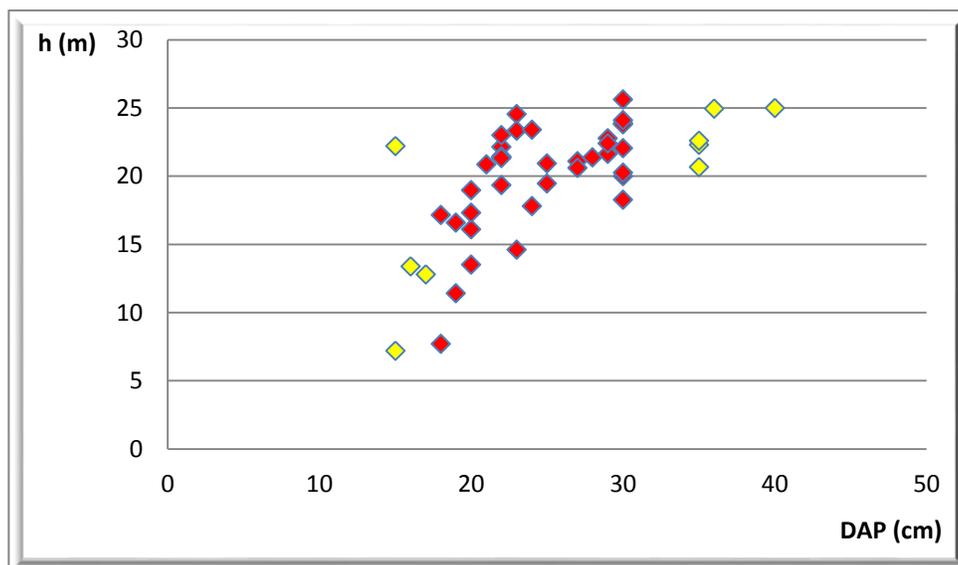


Figura 3. Gráfico de dispersão dos dados

4.4. Análise de Correlação

Com base nos dados colhidos no campo, obtiveram-se os valores do coeficiente de correlação linear de Person, para as variáveis diâmetros relativos, altura, DAP (ver tabela 3). De acordo com VIALI (1993), a Análise de Correlação fornece um número, indicando como duas variáveis variam conjuntamente, o grau de associação linear entre a variável dependente e independente, pois não depende das unidades de medida das variáveis nem das relações de casualidade.

A análise de correlação mede a intensidade e a direção da relação linear ou não-linear entre duas variáveis, podendo variar entre -1 a 1, e quanto mais próximo estiver destes extremos, tanto maior será a associação linear entre as variáveis dependente e independente, sendo que para o valor da correlação linear igual a -1 ou 1, expressa a existência de uma correlação linear perfeita, respectivamente negativa ou positiva (VIALI, 1993).

No caso, em que a relação linear for igual a zero, não implica a independência entre as variáveis, mas antes a inexistência de uma associação linear, podendo existir outro tipo de associação que não seja linear (VIALI, 1993).

Tabela 3: Correlação linear entre altura, DAP.

	<i>D0.0</i>	<i>D0.05</i>	<i>D0.15</i>	<i>D0.25</i>	<i>D0.35</i>	<i>D0.45</i>	<i>D0.55</i>	<i>D0.65</i>	<i>D0.75</i>	<i>D0.85</i>	<i>D0.95</i>	<i>DAP</i>	<i>ht</i>
<i>DAP</i>	0,951	0,972	0,945	0,950	0,952	0,948	0,932	0,912	0,907	0,806	0,498	1	
<i>Ht</i>	0,683	0,657	0,711	0,697	0,650	0,663	0,680	0,670	0,686	0,713	0,399	0,624	1

Onde: DAP-diâmetro a altura do peito; Ht-altura total

De acordo com a Tabela 3, todas as variáveis avaliadas possuem uma correlação positiva, o que significa que em média as variáveis, diâmetro a altura do peito, altura, variam no mesmo sentido entre si e em relação aos diâmetros relativos.

O diâmetro a altura do peito (DAP) e os diâmetros relativos apresentam maiores valores de coeficiente de correlação em comparação à correlação da altura total, e apresentam valores de coeficiente de correlação entre 0,498 a 0,972, podendo diminuir a associação linear à medida em que os diâmetros relativos diminuem (no sentido base-copa), isto é, quanto menor forem os valores dos diâmetros relativos, menor será a sua associação linear com o DAP.

Para a variável altura observou-se um comportamento diferente, uma vez que, não apresentou uma tendência unidirecionada, isto é, na medida em que os diâmetros relativos diminuem no sentido base-copa, os valores de coeficiente de correlação variavam, podendo aumentar ou diminuir para a variável altura.

De acordo com SCOLFORO (1997) citado por CALDEIRA *et al.* (2003), de povoamentos em sítios bem definidos, bem formados e conduzidos, espera-se uma correlação alta entre as variáveis diâmetro e altura, pois haverá maior homogeneidade na população considerada.

4.5. Ajuste das equações

Na tabela 4 (vêr pág. 27) são apresentados, os parâmetros estimados para os 20 modelos hipsométricos, dos quais 13 aritméticas e 7 logarítmicas, onde podem ser observados os valores dos coeficientes (b_0 , b_1 , b_2 , b_3) valor do F (F), valor do R^2 ajustado em percentagem (R^2 ajust.%), desvio padrão dos resíduos em percentagem (Sxy %) e o índice de furnival em percentagem (IF %), obtidos através da análise de regressão.

Tabela 4. Parâmetros obtidos a partir da análise de regressão dos modelos testados de relações hipsométricas

Equação	Coeficientes				F	Rajust. (%)	Sxy (%)	IF (%)
	bo	b1	b2	b3				
1	-12,389	1,831			150,439	77,254	18,748	
2	-15,916	-5,572*			32,515	41,734	16,830	
3	3,018	14,114*	-350,586		18,240	43,935		20,285
4	9,095*	0,421			27,475	37,567	17,421	
5	-38,633	5,414*	-0,163*	0,002	12,818	44,621	16,407	
6	-10,941	2,031	-0,030*		18,606	44,452	16,432	
7	31,229*	-272,782			36,401	44,585	16,413	
8	0,749	0,688			28,614	38,559		21,235
9	9,890*	-1,485*	-51,997		18,682	44,559		20,172
10	4,626*	-0,071*	0,004		79,677	78,148	9,252	
11	0,749	-0,688*			28,614	38,559		21,235
12	35,598*	-2,025	0,073		99,657	81,767	16,786	
13	-15,916	11,144*			32,515	41,734	16,830	
14	0,073	-2,084	36,640*		16,505	41,341	28,799	
15	0,459	0,378			28,013	38,039		21,879
16	39,293*	-396,666	-0,004*		18,840	44,779	16,384	
17	14,694*	0,007			22,589	32,916	18,058	
18	25,600*	-3,194	-3029,269		18,373	44,123	16,481	
19	3,669	-17,086			33,527	42,504		20,542
20	2,647	0,000			18,632	28,608		22,890

Onde: * Coeficientes não significativos ao nível de significância de 5% ($p < 0,05$); bo, b1, b2, b3- Coeficientes; F-Teste de Fisher; R^2 ajust. (%) - coeficiente de regressão em percentagem; Sxy (%) - desvio padrão dos resíduos em percentagem; IF (%) - índice de furnival em percentagem;

As estatísticas analisadas na tabela acima indicam a quantidade de variação da variável dependente em função das variáveis explanatórias e a dispersão média entre os valores observados e os valores estimados ao longo da regressão, embora não fornecendo indicativos suficientes do comportamento dos modelos.

Com base nos valores da tabela 4, verifica-se que os valores de teste de Fisher (F) variam entre, 12,818 à 150,439; os valores de Coeficiente de Determinação (R^2 ajust.%) variam entre 28,608 a 81,767 e os valores de desvio padrão de resíduos (Sxy %) variam entre 9,252 à 28,799.

De acordo com os resultados obtidos na tabela 4, verificou-se que as equações 1, 10 e 12 foram as que melhor apresentaram valores de ajuste, com os valores de F, 150,439; 79,677 e 99,657 respectivamente. As mesmas equações tiveram maior valor do $R^2_{ajust}(\%)$, sendo de 78,148; 81,767 e 77,254 respectivamente. Também se pode verificar que tiveram um baixo valor de desvio padrão dos resíduos, sendo 18,748; 9,252 e 16,786 respectivamente.

Verifica-se na tabela 4 também que as equações 14 e 20 constituem as piores, com os valores de F, sendo de 16,505 e 18,632 respectivamente, de $R^2_{ajust}(\%)$, sendo de 41,341 e 28,608 respectivamente e um elevado valor de desvio padrão e *IF* em relação aos outros modelos, sendo de 28,799 e 22,890 respectivamente.

4.6. Seleção das melhores equações

Na tabela 5, observam-se as 3 equações seleccionadas e os valores dos parâmetros estatísticos, teste de Fisher (F), coeficiente de determinação ajustado (Rajust. %), desvio padrão dos resíduos (%) e os resíduos médios.

Tabela 5. Equações de regressão seleccionadas da hipsométria para análise gráfica dos resíduos

Equação	MODELO	F	$R^2_{ajust.}(\%)$	Sxy (%)	RM
1	$\frac{DAP^2}{ht} = \beta_0 + \beta_1 * DAP$	150,439	77,254	18,748	$-8,05 \times 10^{-15}^{**}$
10	$\frac{DAP}{\sqrt{ht}} = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * DAP^2$	79,677	78,148	9,252	$-2,96 \times 10^{-16}^{**}$
12	$\frac{DAP^2}{ht} = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * DAP^2$	99,657	81,767	16,786	$-1,31 \times 10^{-14}^{**}$

**Não significativo

De acordo com a tabela acima as 3 equações seleccionadas apresentam maiores valores dos parâmetros estatísticos de F e Rajust.% e menores valores de Sxy(%), conforme referenciado na tabela 4.

As três equações seleccionadas apresentaram uma sobrestimativa dos valores dos resíduos, mas como os valores de $t_{calculado}$ foram menores que valores de $t_{critico}$, essa sobrestimativa tornou-se insignificante, isto é, os resíduos são estatisticamente iguais a zero.

Segundo os valores observados dos parâmetros das equações seleccionadas, a melhor equação ajustada é a equação 10, embora não apresentando maior valor de F, e de Rajust, mas foi a que obteve menor valor de desvio padrão dos resíduos, com os valores de (F=79,677), Coeficiente de determinação (Raj.% = 78,148), Desvio padrão dos resíduos (Sxy% =9,252), com valor $t_{\text{calculado}}$ menor que o t_{critico} ($t_{\text{cal}} (3,826E-15) < t_{\text{crit}} (2,015)$).

De acordo com um estudo feito por MACHADO *et al.* (2008), sobre o comportamento da relação hipsométrica da *Araucaria angustifolia*, as equações com valores de desvio padrão dos resíduos a baixo de 10%, são as que proporcionam um bom uso no povoamento dado que resultam em menor erro quando comparado as outras equações, tornando assim, o modelo mais consistente.

TONINI & SCHWENGBER (2006), num estudo sobre equações hipsométricas e volumétricas para *Acacia mangium* obtiveram para equação hipsométrica selecionada coeficiente de determinação ajustado percentual 62, desvio padrão residual de 9,8; em detrimento da que melhor se ajustou com coeficiente de determinação ajustado percentual de 98, desvio padrão residual percentual de 7,1; na qual a escolha deveu-se segundo os autores a distribuição dos resíduos que sobrestimava a altura nas menores classes diamétricas.

Como os parâmetros estatísticos teste de Fisher, Coeficiente de determinação, desvio padrão dos resíduos, não são os únicos a ter em conta na selecção da melhor equação, fez-se a análise gráfica dos resíduos com vista a verificar se há ou não tendenciosidade dos resíduos ao longo da linha de regressão.

4.7. Análise gráfica dos resíduos

As análises gráficas dos resíduos (figuras 4, 5 e 6), indicam se há uma tendenciosidade dos resíduos ao longo de toda a linha de regressão para os valores de altura estimada, e se as equações hipsométricas seleccionadas para as estimativas são apropriadas.

Com base na análise gráfica da distribuição dos resíduos das três equações seleccionadas, observa-se, se todas as equações apresentaram alguns erros ao longo da linha média, indicando que nem sempre as equações que tiveram melhores valores no ajuste, deixam de apresentar alguns erros ao longo da linha média.

De modo geral observa-se que há uma variação residual numa amplitude de dispersão entre -114 a 50, mostrando uma diferença das amplitudes para as equações seleccionadas. As figuras 4, 5, e 6 mostram a distribuição dos resíduos para as equações seleccionadas.

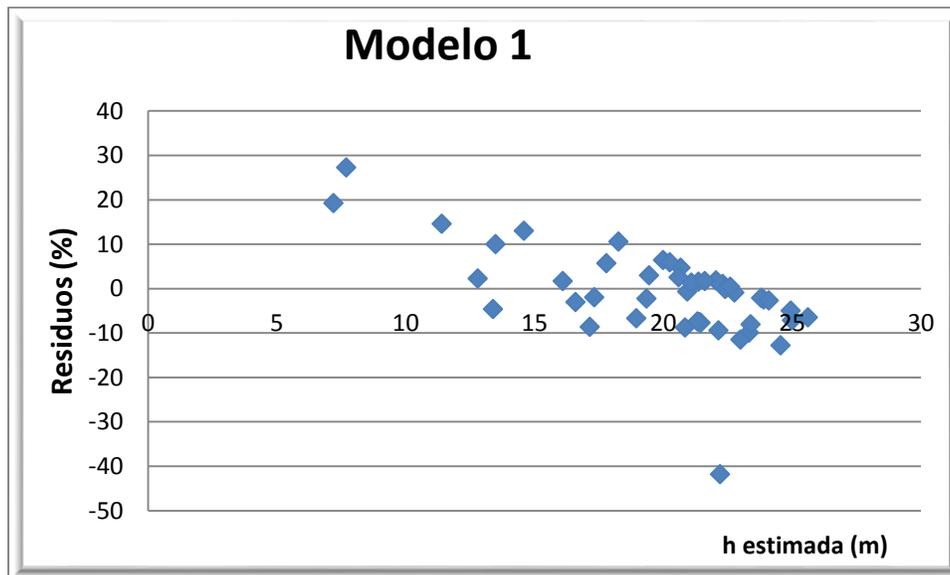


Figura 4. Gráfico de resíduos para a equação do modelo 1.

Com base na análise gráfica da equação do modelo 1 citado por BAPTISTA *et al.*, (2001) na figura 4, observa-se que os resíduos distribuem-se numa amplitude que varia entre -42 à 28, mostrando uma nuvem de resíduos entre as alturas de 20 à 25 metros, por sua vez, apresentou alguma tendenciosidade ao longo da linha de estimativa, pois verifica-se uma subestimativa para valores das alturas entre 7 à 14 cm e sobrestimativa entre as alturas 20 à 25 m.

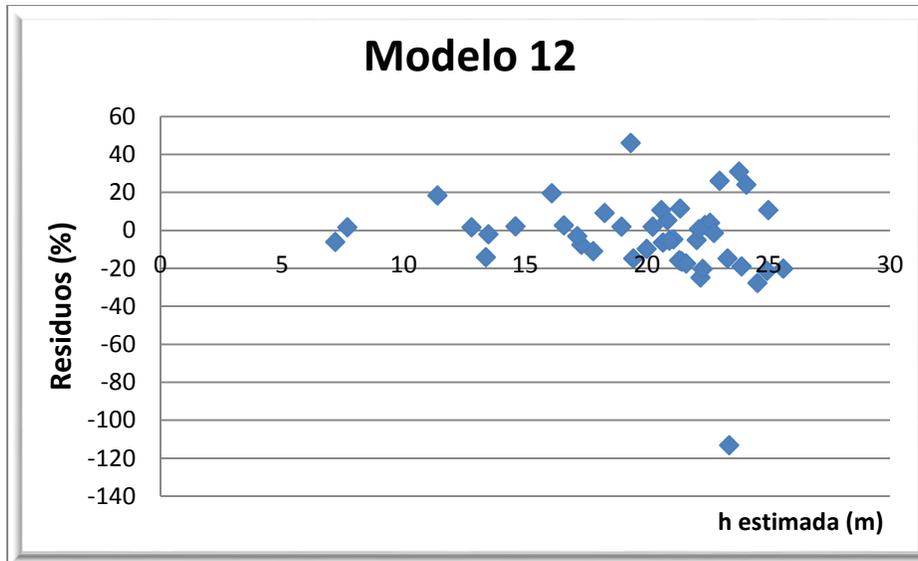


Figura 5. Gráfico de resíduos para a equação do modelo 12.

Com base na análise gráfica da equação do modelo 12 figura 5, observa-se que os resíduos distribuem-se numa amplitude que varia entre -115 à 50, mostrando uma nuvem de resíduos entre as alturas de 15 à 25 metros, apresentou alguma tendenciosidade ao longo da linha de estimativa, pois verifica-se uma subestimativa para valores das alturas entre 10 à 20 cm e sobrestimativa entre as alturas 20 à 25 m.

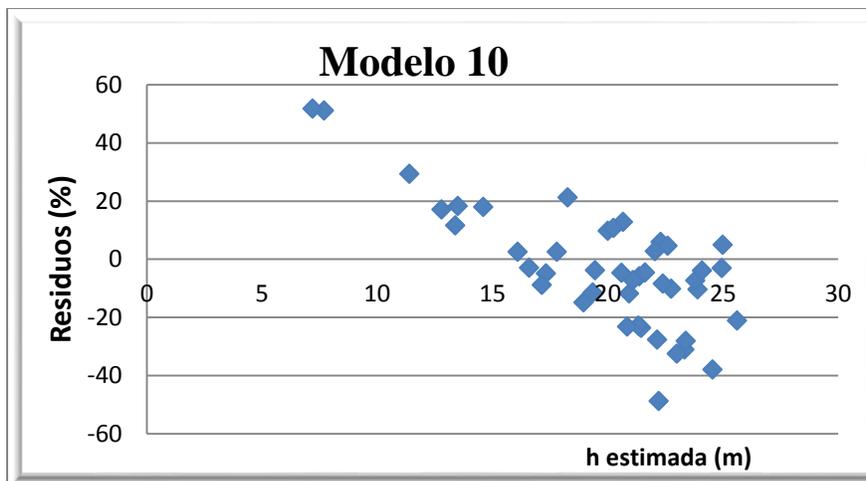


Figura 6. Gráfico de resíduos para a equação do modelo 10.

Com base na análise gráfica da equação do modelo 10 figura 6, observa-se que os resíduos distribuem-se numa amplitude que varia entre -50 à 55, mostrando uma nuvem de resíduos entre as alturas de 15 à 25 metros, apresentou alguma tendenciosidade ao longo da linha de estimativa, pois verifica-se uma subestimativa para valores das alturas entre 7 à 20 cm e sobrestimativa entre as alturas 20 à 25 m.

4.8. Validação

Para a validação, usou-se dados de 14 árvores independentes, não usadas no ajuste dos modelos, fez-se a validação, através do uso do teste Qui-quadrado (X^2) e a análise gráfica dos erros de predição.

Na tabela 6, estão apresentados os resultados dos valores de $X^2_{\text{calculado}}$, $X^2_{\text{Crítico}}$ com 13 graus de liberdade, para o conjunto total dos dados. O teste foi efectuado, a um nível de significância de 5% de probabilidade.

Tabela 6. Valores de X^2 calculado e $X^2_{\text{crítico}}$ da equação seleccionada

Equação	Modelo	$X^2_{\text{calc.}}$	$X^2_{\text{crit.}}$
10	$\frac{DAP}{\sqrt{ht}} = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * DAP^2$	0,496738	22,36203

No processo de validação do modelo seleccionado verifica-se que, pelo teste de qui-quadrado, ao nível de significância de 5%, o valor de $X^2_{\text{calculado}}$ (0,496738), foi menor que o valor de $X^2_{\text{crítico}}$ (22,36203), assim, aceita-se a hipótese nula e que as estimativas de altura (h) obtidas a partir do modelo 10 citado por Baptista *et al.*, (2001), das 14 árvores são válidas. De acordo com SOUSA (2007), quando o valor de X^2 calculado for menor que o valor de X^2 crítico, estabelece-se, a não existência de diferenças estatisticamente significativas entre os valores estimados com os valores observados, por isso, a estimativa de $\frac{DAP}{\sqrt{ht}}$ pela equação seleccionada considera-se boa.

A figura 7 do modelo seleccionado, ilustra a distribuição percentual dos erros de predição em diferentes amplitudes de altura, observa-se neste a nuvem dos resíduos entre a altura estimada de 4 a 8, e, entre os intervalos percentuais de -20 a 20.

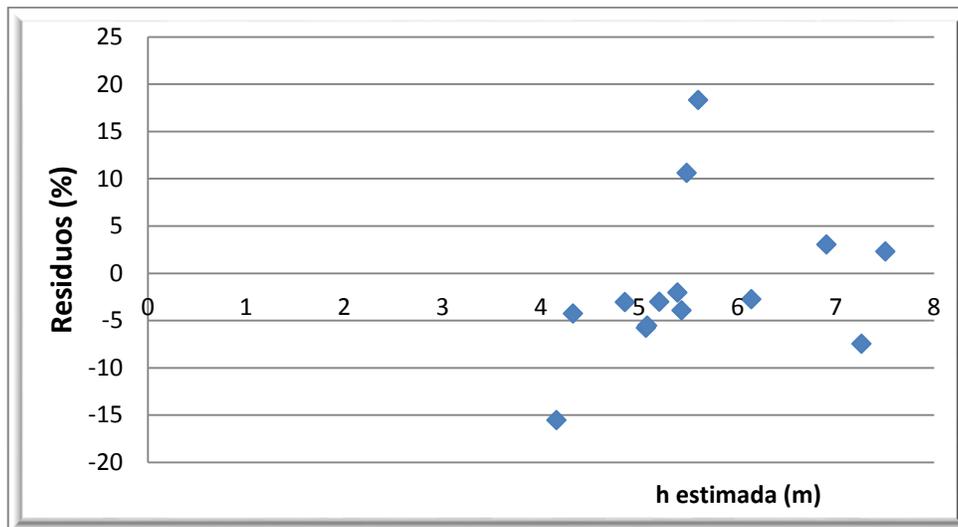


Figura 7. Representa o gráfico de erros de predição do modelo seleccionado

Pode se verificar na figura 7, que ela apresentou alguma tendenciosidade ao longo da linha de estimativa dos resíduos, pois se verifica uma subestimativa para valores das alturas entre 5 à 6 m e sobrestimativa entre as alturas 4 à 5 m. Sobretudo, com base no gráfico acima pode-se perceber que não se aloca perfeitamente para árvores com alturas inferiores a 6m, dado que é notável uma sobrestimativa e subestimativa não compensada.

Esse facto deve-se também à pequena amostra usada na validação. Mas a tal sobrestimativa e subestimativa foi considerada insignificante pelo teste chi-quadrático (qui-quadrático), visto que, o valor de qui-quadrático crítico ($X^2_{crit.}$) foi maior que o valor de qui-quadrático calculado ($X^2_{calc.}$).

5. CONCLUSÃO

- ✚ Com base nos resultados obtidos e observando os critérios de selecção dos melhores modelos, pode-se concluir que, o modelo que melhor se ajustou da espécie *Pinus elliottii* var. *elliottii* foi o modelo 10: $\frac{DAP}{\sqrt{ht}} = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * DAP^2$, com o valor de coeficiente de determinação ($R^2_{ajust} = 78,148$), desvio padrão de resíduos ($S_{xy} = 9,252$), valor de F ($F = 79,677$), e valor dos resíduos médios ($RM = -2,96 \times 10^{-16}$), e valor $t_{calculado}$ ($3,826E-15$) menor que o $t_{critico}$ ($2,015$). Parâmetros estes que permitem salientar que a equação ajustada pode ser usada para estimativas de altura da espécie.
- ✚ O processo de validação do modelo (10) seleccionado, foi efectuado à um nível de significância de 5%, no qual obteve-se que $X^2_{calculado}$ ($0,496738$), foi menor que o valor de $X^2_{critico}$ ($22,36203$), o que permite concluir que as estimativas de $\frac{DAP}{\sqrt{ht}}$ obtidas são válidas.

6. RECOMENDAÇÕES

- ✚ De acordo com os resultados obtidos no presente estudo para as equações hipsométricas recomendaria aos investigadores a desenvolverem estudos que envolvem não apenas os modelos aritméticos e ou logarítmicos, mas também modelos exponenciais e mais complexos, bem como utilizar amostras estratificadas dentro do mesmo povoamento.
- ✚ É primordial que se façam estudos relacionados a este para os diferentes tipos de espécies nativas e exóticas existentes no País, com o intuito de minimizar o tempo para a explanação da altura das árvores, com base na criação de ferramentas mais simples, económicas e fáceis de processa-las.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ✚ ALMEIDA, L. R. & MARQUES, C. P. (2006). **Caracterização Dendrométrica dos Povoamentos de Pinheiro Silvestre em Trás-os-Montes e Alto Douro.** Unicersidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Quinta de Prados, 5001-911. VILA REAL.
- ✚ AZEVEDO, T. L. (2009). **Ajuste de equações hipsométricas e volumétricas para um povoamento de *Eucalyptus sp*, localizado na floresta nacional do ibura;** Sergipe São Critóvão – SE, 49pag.
- ✚ AZEVEDO, C. P.; MUROYA, K.; GARCIA, L. C.; LIMA, R. M. B.; MOURA, J. B.; NEVES, E. J. M. (1999). **Relação hipsometrica para quatro espécies florestais em plantio homogeneo e em diferentes idades na Amazonia Ocidental.** Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, no. 39.5–29 pag.
- ✚ BATISTA, J. L. F., *et al.* (2001). **Desempenho de modelos de relações hipsométricas: estudo em três tipos de floresta.** Scientia Forestalis; no. 60, 149-163 pag.
- ✚ BARROS, D. A.; MACHADO, S. A.; JUNIOR, F. W. A.; SCOLFORO, J. R. S. (2002). **Comportamento de Modelos Hipsométricos Tradicionais e Genéricos para plantações de *Pinus oocarpa* em diferentes tratamentos.** Brasil. Bol. Pesq. Fl., Colombo, no. 45. 3 – 28 pp.
- ✚ BARTOSZECK, S. & DE PLACIDO, A. C.; MACHADO, S. A.; FILHO, A. F.; OLIVEIRA, E. B. (2004). **Dinâmica da relação hipsométrica em função da idade, do sítio e da densidade inicial de povoamentos de *Mimosa scabrella* Benth da região Metropolitanade Curitiba, PR.** Revista Arvore, Vol. 28, no. 004. Sociedade de Investigações Florestais. Viçosa, Brasil. 513 – 533 pag.
- ✚ BILA, J. M. (2011). **Relações hipsométricas de ecossistemas de mopane *colophospermum mopane* em Mabalane.** IIAM, Maputo, Moçambique, 6 pag.

- ✚ CALDEIRA, M. V. W.; SCBUMABER, M. V.; SCBEEREN, L. W.; WATZLAWICK, L. F. (2003). **Relação Hipsométrica para *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze na Região Oeste do Estado de Paraná.** Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais, Curitiba. Vol. 1, no. 2.78 – 88 pp.
- ✚ CALDEIRA, M. V. W. *et al.* (2002). **Relação Hipsométrica para *Acacia mearnsii* com Diferentes Idades.** Bol. Pesq. FI., n 45. Colombo. 12 pag.
- ✚ CARVALHO, P.E.R. (1994). **Espécies florestais brasileiras. Recomendações Silviculturais, potencialidades e uso da madeira.** Brasília: EMBRAPA-CNPQ.
- ✚ DIREÇÃO NACIONAL DE TERRAS E FLORESTAS (2014). **Ponto de situação das áreas dos projectos de reflorestamento em Moçambique.** Maputo.
- ✚ FIGUEIREDO FILHO, A. SCHAAP, L.B. (1999), **Comparison between predicted volumes estimated by taper equations and true volumes obtained by the water displacement technique (xylometer).** Canadian Journal of Forest Research, Ottawa, v.29, pag:451- 461.
- ✚ FINGER, C. A. G. (1992). **Fundamentos da biometria florestal.** Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 269 p.
- ✚ FINGER, C. A. G.; SPATHELF, P.; SCHNEIDER, P. R.; COELHO, L. (2000). **Curvas de Altura-Diâmetro de acacia negra (*Acacia mearnsii* Wild).** Ciência Rural, Vol. 30, no. 3. UFSM / FATEC / CEPEF. 296 pag.
- ✚ FRIEDL, R.A. (1989), **Dinâmica da forma dos fustes em povoamentos plantados de *Araucária angustifolia* (Bert) ° Ktze.** Curitiba: UFPR – Setor de Ciências Agrárias, 166p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal).
- ✚ LAMPRECHT, H. (1990), **Silvicultura nos Trópicos.** Alemanha, 290pp.
- ✚ LEITE, H. G. *et al.* (2006). **Função de afilamento para *Virola surinamensis* (Roll.) Warb.** Revista Árvore, Viçosa, v. 30, n.1, 99-106 p.

- ✚ MACHADO, S. A. *et al.* (1993). **Teste de modelos matemáticos para o ajuste de relação hipsométrica em diferentes sítios e idades para plantações de *Pinus elliottii* no Estado de Parana.** In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7. Curitiba. Anais. Sao Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura,. Vol.2. 553-556p.
- ✚ MACHADO, S. A. *et al.* (2006). **Dinâmica da distribuição diamétrica de Bracatingas na região metropolitana de Curitiba.** Revista *Árvore*, viçora-MG, v.30, n.5, p.759-768.
- ✚ MACHADO, S. A. *et al.* (2008). **Comportamento da relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia* no capão da Engenharia Florestal da UFPR.** Pesquisa Florestal Brasileira , Colombo, n.56, p.5-16.
- ✚ MAGALHÃES, T. M. (2008). **Calibration of commercial volume and form tables for *Androstachys johnsonii* for Madeiarte concession in Canganine-Memo Villages.** A thesis submitted for the degree of master of Science at University of Copenhagen, Faculty of Life Science. Dinamarca.
- ✚ MARZOLI, A. (2007). **Inventário Florestal Nacional-Relatório Final.** Ministério de Agricultura - Direcção Nacional de Terras e Florestas-Avaliação Integrada das Florestas de Moçambique. Maputo. 98p.
- ✚ OLIVEIRA, J. C. (2010). **Considerações sobre a determinação e utilização de equações volumétricas.** UFRRJ; Seropédica, RJ; 36p.
- ✚ RONDEUX, J. (1993). **La mesure des arbres et des peuplements forestiers.** Press. Agronomiques de Gembloux. 526 pag.
- ✚ SANQUETTA, C. R. *et al.* (2009). **Inventários Florestais: Planejamento e Execução;** 2. Ed, Multi-Graphic; Gráfica e Editora – Curitiba.
- ✚ SCHNEIDER, P. R. (1998). **Análise de Regressão aplicada a Engenharia Florestal.** 2ª ed. Santa Maria: UFSM/CEPEF.
- ✚ SCHNEIDER, P. R. *et al.* (2009), **Análise de regressão aplicada à engenharia florestal.** FACOS-UFSM, Santa Maria, 294 p.
- ✚ SCOLFORO, J. R. S. *et al.* (1998). **Acuracidade de equações de afilamento para representar o perfil de *Pinus elliottii*.** Revista Cerne Lavras. Vol, 4, No. 1, 100-122p.
- ✚ SHIMIZU, J. Y. (2005). ***Pinus* na silvicultura.** Portal Ambiente Brasil, Artigo Técnico.

- ✚ SOUZA, C. A. M.; DE ALMEIDA, A. Q.; DE ALMEIDA, V. V. S.; DA SILVA, G. F. (s.d.). **Comparação entre Modelos de Relações Hipsométricas para estudo de uma floresta de *Eucalyptus urophylla***. X Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação-Universidade do Vale do Paraíba. CCA-UFES.
- ✚ SOUZA, C. A. M. (2007). **Avaliação de modelos de *taper* não segmentados e segmentados na estimação da altura e volume commercial de fustes de *Eucalyptus sp.*** Tese de Mestrado em Produção Vegetal: Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre.
- ✚ TOMÉ, M. *et al.* (2007). **Relações Hipsométricas Geral para *Eucalyptus globulus* Labill em Portugal**; ISA/DEF Lisboa.
- ✚ TONINI, H. & SCHWENGBER, L. A. M. (2006). **Equações Hipsométricas e Volumétricas para *Acacia mangium* Willd.** *Ambiência*, Guarapuava, Vol 2, n.2. 155 – 165 p.
- ✚ VIALI, Lorí (1993). **Correlação e Regressão.** Estatística básica. Texto V. Enfoque: Exatas. 31p.
- ✚ WEBER, K. S. (2007). **Manejo da Bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) baseado no diâmetro das árvores individuais.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Paraná. Brazil. 125pag.
- ✚ ZANON, M. L. B. *et al.* (1996). **Funções para descrever a relação altura e diâmetro de *Eucalyptus dunnii* Maiden.** *Ciência Rural*, Santa Maria, Vol. 26, no.1. 87 – 90p.

ANEXOS

ANEXOS 1.

FICHA DE CAMPO

DATA __/__/__

COORDENADAS: Long:____ **Lat:** _____

Árvore Nr	D0.0	D0.05	D0.15	D0.25	D0.35	D0.45	D0.55	D0.65	D0.75	D0.85	D0.95	D1.0	DAP	ht
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14														
15														
16														
17														
18														
19														
20														
21														
22														
23														
24														
25														
26														
27														
28														
29														
30														

ANEXOS 2. Equações usadas para o ajuste

Equação	Modelos	Fonte/Ano
1	$\frac{DAP^2}{ht} = \beta_0 + \beta_1 * DAP$	Baptista <i>et al.</i> , (2001)
2	$ht = \beta_0 + \beta_1 * \ln \frac{1}{DAP^2}$	Caldeira <i>et al.</i> , (2003)
3	$\ln ht = \beta_0 + \beta_1 * \frac{1}{DAP} + \beta_2 * \frac{1}{DAP^2}$	Azevedo <i>et al.</i> , (1999)
4	$ht = \beta_0 + \beta_1 * DAP$	Baptista <i>et al.</i> , (2001)
5	$ht = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * DAP^2 + \beta_3 * DAP^3$	Baptista <i>et al.</i> , (2001)
6	$ht = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * DAP^2$	Caldeira <i>et al.</i> , (2003)
7	$ht = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{DAP}$	Caldeira <i>et al.</i> , (2003)
8	$\ln ht = \beta_0 + \beta_1 * \ln DAP$	Caldeira <i>et al.</i> , (2003)
9	$\ln ht = \beta_0 + \beta_1 * \ln DAP + \beta_2 * \frac{1}{DAP}$	Azevedo <i>et al.</i> , (1999)
10	$\frac{DAP}{\sqrt{ht}} = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * DAP^2$	Baptista <i>et al.</i> , (2001)
11	$ht = \beta_0 + \beta_1 * \ln DAP$	Caldeira <i>et al.</i> , (2003)
12	$\frac{DAP^2}{ht} = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * DAP^2$	Baptista <i>et al.</i> , (2001)
13	$\ln ht = \beta_0 + \beta_1 * \ln \frac{1}{DAP}$	Baptista <i>et al.</i> , (2001)
14	$\frac{1}{ht} = \beta_0 + \beta_1 * \frac{1}{DAP} + \beta_2 * \frac{1}{DAP^2}$	Baptista <i>et al.</i> , (2001)
15	$\ln (ht - 1.3) = \beta_0 + \beta_1 * \ln DAP^2$	Caldeira <i>et al.</i> , (2003)
16	$ht = \beta_0 + \beta_1 * \frac{1}{DAP} + \beta_2 * DAP^2$	Azevedo <i>et al.</i> , (1999)
17	$ht = \beta_0 + \beta_1 * \frac{1}{DAP} + \beta_2 * \frac{1}{DAP^2}$	Barros <i>et al.</i> , (2002)
18	$ht = \beta_0 + \beta_1 * DAP^2$	Azevedo <i>et al.</i> , (1999)
19	$\ln ht = \beta_0 + \beta_1 * \frac{1}{DAP}$	Caldeira <i>et al.</i> , (2003)
20	$\ln ht = \beta_0 + \beta_1 * DAP^2$	Caldeira <i>et al.</i> , (2003)

Onde: di= diâmetro relativo; dap= diâmetro á altura do peito; hi= altura relativa; ht= altura total; bo, b1, b2, b3, b4, b5 = coeficientes.

ANEXO 3. Resultados da regressão das equações hipsométricas ajustadas

Equação 1

SUMÁRIO DOS RESULTADOS

<i>Estatística de regressão</i>					
R múltiplo	0.881878				
Quadrado de R	0.777708		Tcal	8.51232E-15	
Quadrado de R ajustado	0.772539	77.25385142	Tcrit	2.015367574	
Erro-padrão	6.419453	18.74807724	P		1
Observações	45				

ANOVA

	<i>Gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significância</i>
Regressão	1	6199.512246	6199.512	150.4393	1.23998E-15
Residual	43	1772.003414	41.20938		
Total	44	7971.51566			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro-padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor P</i>	<i>95% inferior</i>	<i>95% superior</i>
Interceptar	-12.388707	3.920294814	3.1601	0.0029	-20.294735	4.482678914
DAP	1.83099357	0.14928154	12.265	1E-15	1.52993865	2.132048485

Equação 10

SUMÁRIO DOS RESULTADOS

<i>Estatística de regressão</i>					
R múltiplo	0.889614				
Quadrado de R	0.791413			tcal.	3.83E-15
Quadrado de R ajustado	0.78148	78.14798075		tcrit.	2.015368
Erro-padrão	0.531322	9.252296497		P	1
Observações	45				

ANOVA

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significância</i>
Regressão	2	44.9862479	22.49312395	79.67719	5.07051E-15
Residual	42	11.85673275	0.282303161		
Total	44	56.84298065			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro-padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor P</i>	<i>95% inferior</i>	<i>95% superior</i>
Interceptar	4.62648013	1.339986906	3.452630851	0.001279	1.922277075	7.330683191
DAP	0.07113792	0.105201542	0.676206079	0.502617	0.283443228	0.141167384
DAP^2	0.00424532	0.00197273	2.152003775	0.037192	0.000264192	0.008226451

Equação 12

SUMÁRIO DOS RESULTADOS

<i>Estatística de regressão</i>			
R múltiplo	0.90882	Tcal	1.56561E-14
Quadrado de R	0.825953	Tcrit	2.015367574
Quadrado de R ajustado	0.817665	P	1
Erro-padrão	5.747498		
Observações	45		

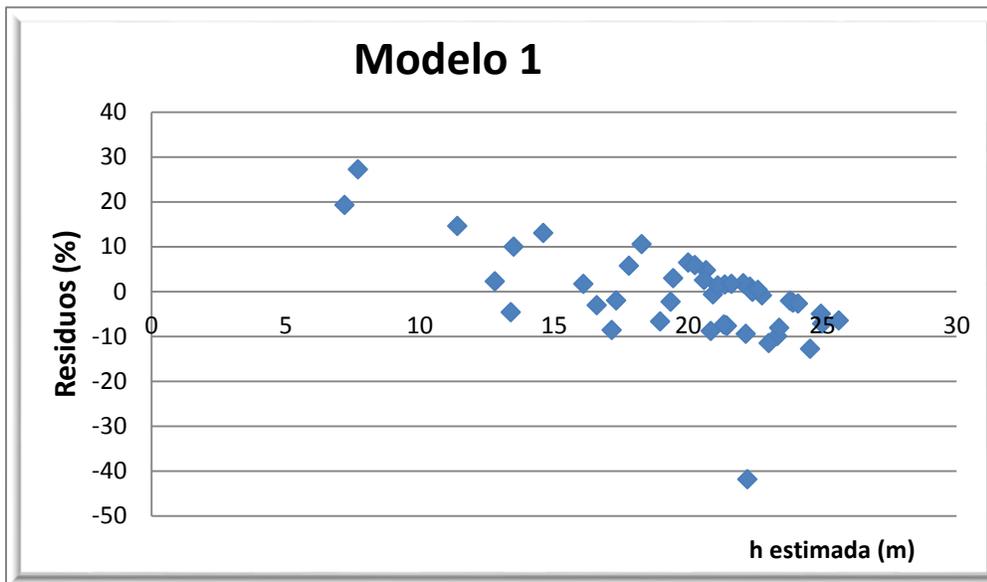
ANOVA

	<i>Gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significância</i>
Regressão	2	6584.099079	3292.05	99.65722	1.13236E-16
Residual	42	1387.416581	33.03373		
Total	44	7971.51566			

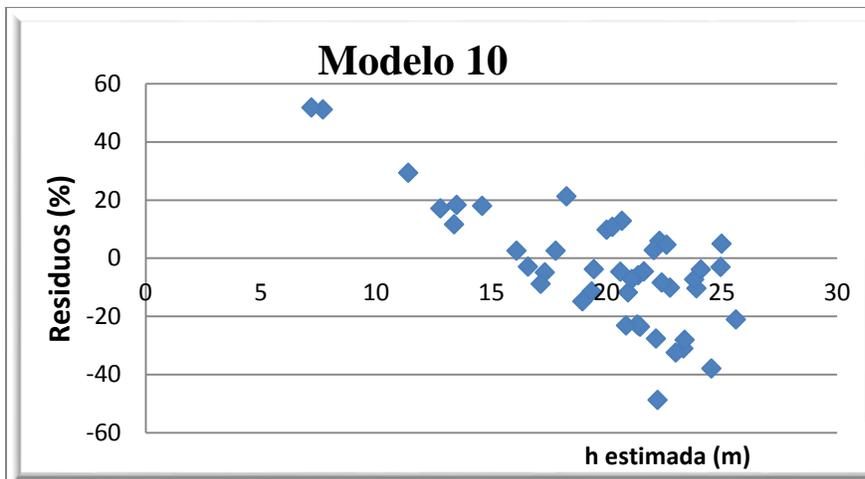
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro-padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor P</i>	<i>95% inferior</i>	<i>95% superior</i>
Interceptar	35.5977786	14.49510879	2.455848	0.018274	6.345464735	64.85009241
DAP	2.02507971	1.138002009	-1.7795	0.082394	-4.321660736	0.271501326
DAP^2	0.07281266	0.021339709	3.412074	0.001438	0.029747385	0.115877937

ANEXO 4. Distribuição gráfica dos resíduos

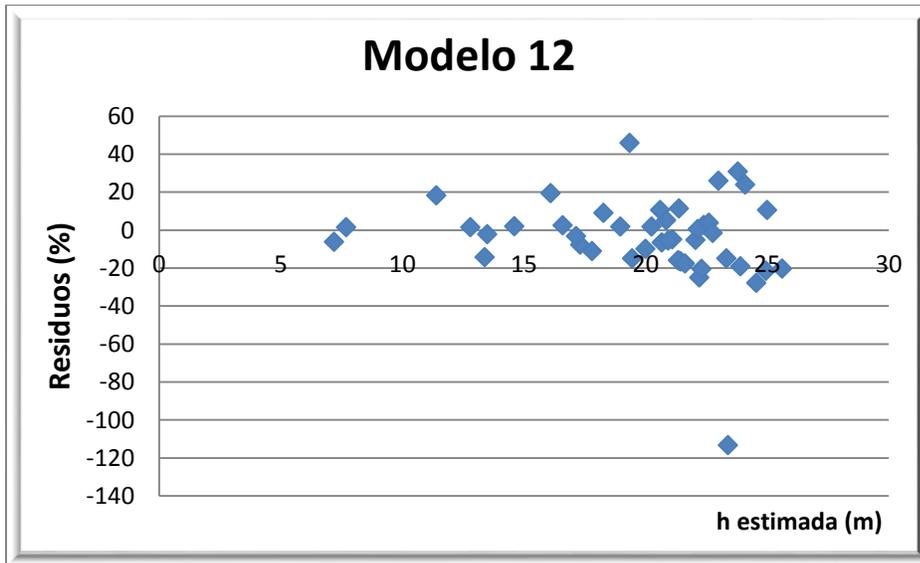
Modelo 1.



Modelo 10.



Modelo 12.



ANEXO 5. Dados usados para validação do modelos seleccionado

Arvore Nr	DAP	Ht
1	16	8
2	19	21
3	15	12
4	21	19
5	24	22
6	20	13
7	24	22
8	24	21
9	25	22
10	26	23
11	32	21
12	30	24
13	35	22
14	37	26