



**UNIVERSIDADE  
EDUARDO MONDLANE**

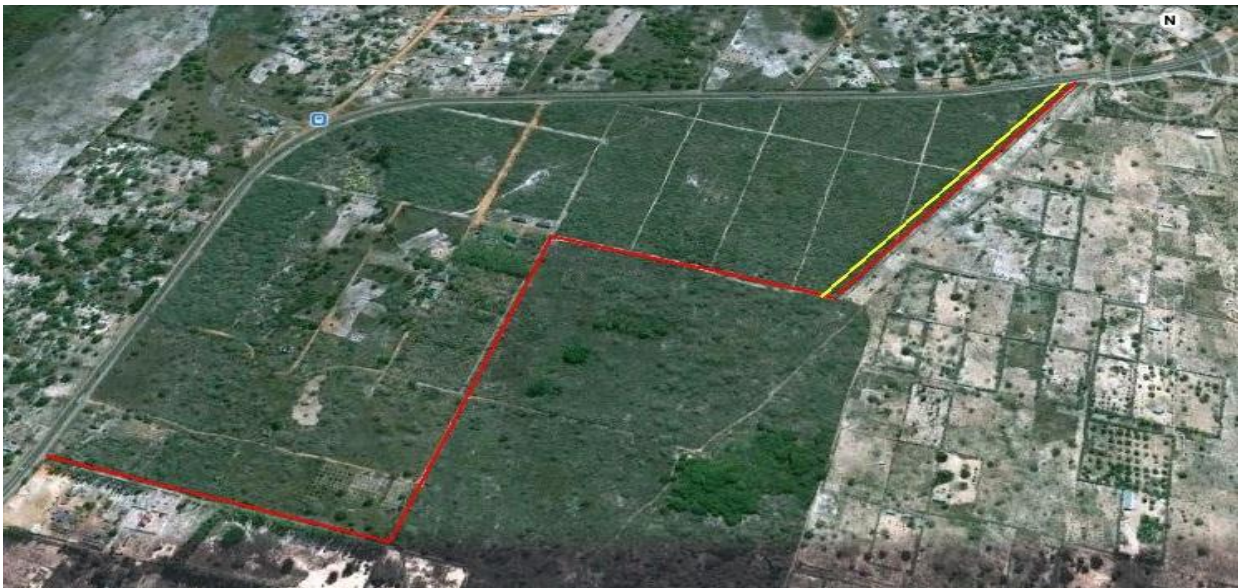


**FACULDADE DE AGRONOMIA E ENGENHARIA FLORESTAL**

Departamento de Engenharia Florestal

**Projecto final**

**CARACTERIZAÇÃO FITOSSOCIOLÓGICA E RELAÇÕES HIPSOMÉTRICAS DA  
PLANTAÇÃO DE CHANFUTA EM MICHAFUTENE NO DISTRITO DE  
MARACUENE.**



**Autor:** Milton Sebastião Zavale

**Supervisor:** Eng<sup>o</sup>. Jacob Miguel Bila (MSc)

**Maputo, Outubro de 2013**

## ÍNDICE

DEDICATÓRIA.....	iii
AGRADECIMENTOS .....	iv
RESUMO .....	v
LISTA DE ABREVIATURAS.....	vi
LISTA DE FIGURAS .....	vii
LISTA DE TABELAS .....	viii
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. Problema de estudo e justificação .....	2
1.2. Objectivos.....	3
1.2.1. Geral: .....	3
1.2.2. Específicos: .....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Estrutura horizontal e vertical da floresta.....	4
2.1.1. Abundância .....	5
2.1.2. Frequência.....	5
2.1.3. Dominância.....	5
2.1.4. Distribuição diamétrica.....	6
2.2. Processo de amostragem.....	7
2.2.1. Amostragem sistemática .....	8
2.2.2. Intensidade amostral .....	9
2.2.3. Tamanho e forma das unidades amostrais .....	10
2.3. Medição do DAP e altura das árvores na parcela.....	11
2.4. Equações hipsométricas.....	12
2.5. Descrição da espécie plantada na área de estudo .....	13
2.5.1. Taxonomia .....	13
2.5.2. Descrição .....	13
2.5.3. Distribuição da espécie e usos da madeira.....	13
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	14
3.1. Descrição da área de estudo.....	14
3.1.1. Altitude e Solos.....	14

3.1.2.	Clima.....	14
3.2.	Desenho amostral e tamanho da amostra .....	14
3.3.	Localização das unidades amostrais e medições efectuadas dentro das parcelas.....	15
3.4.	Análise de dados .....	16
3.4.1.	Análise estrutural da floresta .....	16
3.4.1.1.	Estrutura horizontal .....	16
3.4.1.2.	Estrutura vertical .....	16
3.4.2.	Equações Hipsométricas .....	17
3.4.3.	Critério de selecção do melhor modelo .....	17
3.4.3.1.	Análise da variância .....	18
3.4.3.2.	Coefficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ) .....	18
3.4.3.3.	Erro padrão da estimativa em m (Syx) e em percentagem (Syx%) .....	19
3.4.3.4.	Análise gráfica dos resíduos.....	19
3.4.4.	Validação da equação seleccionada.....	20
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	21
4.1.	Estatística descritiva dos dados analisados.....	21
4.2.	Estrutura Fitossociológica .....	21
4.2.1.	Estrutura horizontal.....	21
4.2.2.	Estrutura vertical.....	24
4.3.	Ajuste de equações Hipsométricas .....	25
4.3.1.	Seleção da melhor equação .....	25
4.4.	Validação da equação seleccionada.....	30
5.	CONCLUSÃO .....	32
6.	RECOMENDAÇÕES .....	33
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	34
	ANEXOS .....	37

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho aos meus pais Sebastião Silvano Zavale e Noémia Silvestre M. Zavale.

Aos meus irmãos Cocas, Stélio e Inilzio.

Á minha cunhada Cacilda Joana, a minha sobrinha Xixel e ao meu tio Filipe.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus e aos meus pais pela vida, saúde, o bem-estar e pelos cuidados e orientações que tem me dado durante os momentos alegres e difíceis da vida.

Agradeço ao meu orientador Eng. Jacob Miguel Bila pela oportunidade cedida para a realização do presente trabalho, pelas orientações sábias, conhecimentos transmitidos e compreensibilidade, pela confiança e crédito atribuídos ao meu potencial como estudante.

A Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal (FAEF) e os seus integrantes pela oportunidade ímpar de poder ter a formação académica superior no ramo de Florestas.

Aos meus docentes Eng. Jacob Miguel Bila, Eng. Tarquinio Magalhães, Eng. Francisco Geje, Eng<sup>a</sup>. Horácia Mula, Eng<sup>a</sup>. Rosta Mate, Eng. Faruk Mamugy, Prof. Doutor Andrade Egas, Prof. Doutor Valério Macandza, Prof. Doutor Adolfo Bila, Prof. Doutora Romana Bandeira, dr<sup>a</sup>. Nocy Bila, Prof. Doutora Natasha Ribeiro, dr. Agostinho Vilanculos, Prof. Doutor Firmino Mucavel e Eng. Meizal Popat, pelos conhecimentos transmitidos durante a minha formação.

Aos meus colegas Mucavel, Chambule, Inácio, Ossene, Guarinare, Clavete, Catine, Sidumo, Libombo, Mirasse, Machava, Malate, Mimoso, Francisco e Maposse, pela companhia, críticas, conselhos e pelas conversas dentro e fora das aulas durante os anos de formação.

Aos meus amigos Lutério, Dionísio, Tiago, Vicente, Jujú, Yuna, Virgulino, pela consideração e força durante a minha formação.

A toda minha família e a todos que directa ou indirectamente contribuíram para a realização deste trabalho e que sentem-se felizes com o meu progresso.....

**O MEU MUITO OBRIGADO!**

## RESUMO

Para a aplicação de projectos correctos de manejo florestal, assim como o aproveitamento permanente das florestas, deve-se conhecer a composição e estrutura das mesmas, por outro lado durante a realização do inventário, o uso de instrumentos para a medição das alturas das árvores constitui uma operação exaustiva e demorada. Desse modo, surge o presente trabalho com objectivo de avaliar as relações hipsométricas, a estrutura vertical e horizontal da floresta de Michafutene no distrito de Marracuene. Para o efeito, foi realizado um inventário florestal na área total de 31,37 ha, onde foram estabelecidas 31 parcelas de 0,125 ha, equivalentes a uma intensidade de amostragem de 12,5%.

As parcelas foram seleccionadas de forma sistemática na área de estudo com ajuda do mapa, GPS e bússola. Dentro de cada unidade amostral foram medidos os DAP's e as alturas totais de todas as árvores com DAP superior a 10cm. Foram medidas no total 561 árvores, onde para a estrutura horizontal obteve-se a abundância média de 145 Arv/ha e o total de 4542 árvores, a dominância média foi de 4,515 m<sup>2</sup>/ha e o total da população foi de 141,629 m<sup>2</sup>. A distribuição diamétrica resultou em um gráfico do tipo “J invertida” que permitiu afirmar que a plantação está num estado estável e auto-regenerativo e que existe um balanço entre a mortalidade e o recrutamento. Para a estrutura vertical obteve-se a altura dominante do povoamento de 5,14 m, que permitiu a definição dos estratos da floresta e o número de árvores por estrato. O estrato superior com cerca de 134 Arv/ha e o estrato médio com 12 Arv/ha. Os dados colhidos não permitiram a determinação do número de árvores por unidade de área para o estrato inferior.

A partir das variáveis dendrométricas medidas na área de estudo foi possível ajustar os 8 modelos hipsométricos. Os modelos ajustados foram propostos por Trorey, Azevedo *et al.* (1999), Henricksen, Linha Recta (sem autor), Stofel, Curtis, Silva (1980) Azevedo *et al.* (1999). O modelo que melhor apresentou uma relação da altura com o diâmetro da árvore foi o modelo proposto por Silva (1980). Nele obteve-se o melhor resultado tanto para o coeficiente de determinação ajustado [ $R^2_{aj} (\%) = 27,1295$ ], como para o erro padrão da estimativa, o equivalente Índice de Furnival para modelos logarítmicos [IF (%) = 20,9505]. Ao verificar a regressão, mediante uma análise gráfica dos resíduos, foi notado que não houve uma diferença significativa entre os modelos testados. Pelo teste Qui-quadrado ( $\chi^2$ ) foi possível concluir que a equação seleccionada é válida para estimar as alturas totais das árvores de *Azelia quanzensis* plantadas em Michafutene no distrito de Marracuene.

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

DAP – Diâmetro a Altura do Peito

m<sup>2</sup> – Metros quadrados

ha – Hectares

Arv/ha – Árvores por hectare

cm – Centímetros

N/ha – Número de indivíduos por hectare

n – Tamanho da amostra

% - Percentagem

IIAM – Instituto de Investigação Agrária de Moçambique

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1: Gráfico de distribuição diamétrica

Figura 2: Gráficos da dispersão dos resíduos

Figura 3: Dispersão gráfica dos erros de predição para a equação 7



## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Equações hipsométricas testadas

Tabela 2: Descrição dos dados analisados

Tabela 3: Parâmetros que descrevem a estrutura horizontal

Tabela 4: Estratificação vertical da floresta

Tabela 5: Equações hipsométricas ajustadas para *Afzelia quanzensis*.

Tabela 6: Estatísticas de ajuste e precisão requerida para os modelos testados para *Afzelia quanzensis*.

Tabela 7: Teste dos coeficientes das equações ajustadas

## 1. INTRODUÇÃO

O sector florestal em Moçambique desempenha um papel extremamente importante para a economia e desenvolvimento do País, representando uma fonte principal de alimentos, medicina, energia e materiais de construção para a maioria da população Moçambicana. Simultaneamente, a exploração comercial de madeira e a sua exportação constitui uma importante fonte de divisas para o País (DEF, 2003).

Para garantir uma utilização racional dos recursos florestais é necessário ter conhecimento básico e científico da ecologia como as estruturas horizontais e verticais, as condições do sítio. Para caracterizar a estrutura vertical e a distribuição diamétrica das florestas é indispensável a realização de um levantamento florestal (Lamprecht, 1990). Nos levantamentos feitos por amostragem, as estimativas dos vários parâmetros de uma população, são obtidas pela medição de uma fracção da população inventariada. O verdadeiro valor de uma característica é um valor que existe na natureza. Entretanto, pela avaliação de um número adequado de unidades de amostras, pode-se estimar sua estatística correspondente (Hosokawa e Souza, 1987).

Segundo Scolforo e Mello (1997), inventário florestal é o uso de fundamentos de amostragem e mensuração para a determinação ou estimativa das características quantitativas ou qualitativas da floresta, com finalidade de se conhecer o stock de madeira presente na floresta e seu potencial produtivo, além de ser possível o desenvolvimento de estudos de crescimento e conhecer a estrutura da floresta.

O inventário florestal utiliza a amostragem para a estimativa de características das florestas, sejam estas quantitativas ou qualitativas. Entre as estimativas quantitativas são determinadas a estrutura horizontal e a estrutura vertical. A estrutura horizontal diz respeito à ocupação espacial de uma área florestal e a análise desta deve ser baseada no inventário e na interpretação das dimensões do indivíduo para servir de comparação entre florestas diferentes. Alguns dos índices da estrutura horizontal são a densidade, a dominância e o índice de valor de cobertura (Bonetes, 2003). A estrutura vertical é a distribuição das árvores nos diversos estratos da floresta. O conhecimento desta distribuição é importante pois uma espécie é estável

e tem seu lugar assegurado na estrutura da floresta, quando encontra-se com densidade decrescente dos estratos inferiores para os superiores (Schorn, 2006).

A utilização de uma ferramenta simplificada que permita a obtenção de valores precisos de alturas das árvores de uma espécie ou mais, é essencial pois trata-se de uma das variáveis dendrométricas de grande importância depois do DAP, a qual é colhida durante o inventário florestal para a estimativa do volume, que por sua vez é a base para o planeamento da gestão da floresta e para o seu uso sustentável. Uma das ferramentas utilizadas nas estimativas de alturas de um povoamento em menos tempo é o emprego de equações hipsométricas.

As relações hipsométricas, ou sejam, as funções relacionando DAP e altura total da árvore, são bastante sensíveis às variações de sítio. Daí a necessidade de geração de parâmetros para cada parcela de amostragem localizada num determinado sítio (Couto e Bastos, 1987).

### **1.1. Problema e justificação do estudo**

As florestas em Moçambique constituem a base de matérias-primas para as comunidades e indústrias florestais. Contudo, para a quantificação dessas matérias-primas é imprescindível a realização de um levantamento florestal.

Segundo Sanquetta *et al*, (2009) em qualquer actividade do ramo florestal e também nas avaliações ambientais concernentes aos recursos florestais o inventário é sempre uma técnica importante e imprescindível.

Este trabalho pretende avaliar os parâmetros fitossociológicos (estrutura vertical e horizontal) da floresta, dado que trata-se de uma plantação de uma espécie nativa, que cresce espontaneamente em florestas naturais, o que torna as suas características aparentemente diferentes das demais plantações feitas no País, as quais na sua maioria são de espécies exóticas. Por outro lado, pretende-se determinar a relação altura e diâmetro da *Afzelia quansensis* na plantação de Michafutene, usando equações hipsométricas, permitindo desse modo estimativas precisas das alturas com tempo e custos reduzidos, nas medições subsequentes no mesmo povoamento.

Para a aplicação de projectos correctos de manejo florestal, assim como o aproveitamento permanente, deve-se conhecer a sua composição e a sua estrutura. Os resultados das análises estruturais, permitem fazer deduções sobre a origem, características ecológicas e sincológicas, dinamismo e tendências do futuro desenvolvimento das florestas, elementos básicos para o planeamento do manejo silvicultural. Sem o conhecimento das características estruturais de uma floresta não pode existir seu aproveitamento racional (Hosokawa, 1988).

De acordo com Scolforo e Mello (1997), uma maneira de se detectar o estágio em que a floresta se encontra, e as possíveis alterações ali ocorridas é realizar a análise estrutural da vegetação existente, de tal modo que possam ser observados os aspectos que envolvem as espécies quando consideradas isoladamente (aspectos auto ecológicos) e as interações relativas aos indivíduos que compõem a comunidade florestal (aspectos sincológicos).

O uso de relações hipsométricas em inventário florestal vem se constituindo em uma operação rotineira para a estimativa da altura das árvores através da relação DAP e altura. Para Couto e Bastos, (1987) a determinação da altura das árvores em pé através de instrumentos é uma operação onerosa e sujeita a erros. Desse modo, procura-se medir algumas alturas nas parcelas de inventário e, através de relações hipsométricas, estimar as demais.

## **1.2. Objectivos**

### **1.2.1. Geral:**

- Avaliar a fitossociologia e as relações hipsométricas da floresta plantada de Michafutene

### **1.2.2. Específicos:**

- Determinar a estrutura horizontal e vertical da plantação de Michafutene;
- Ajustar os modelos hipsométricos para *Afzelia quanzensis*;
- Seleccionar e validar a melhor equação.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Estrutura horizontal e vertical da floresta**

Para Husch *et al.* (1982), a estrutura do povoamento pode ser definida como a distribuição de espécies e quantidade de árvores numa área florestal, sendo o resultado dos hábitos de crescimento das espécies e das condições ambientais onde o povoamento se originou e desenvolveu.

Para Galvão (1994) citado por Sanquetta, *et al.* (2009), a estrutura horizontal diz respeito à distribuição espacial de todas as espécies que compõem uma comunidade. Os principais parâmetros utilizados para expressá-la são: abundância, dominância e frequência. A estrutura vertical das espécies é um indicador que informa sobre a composição florística dos diferentes estratos da floresta em sentido vertical e do papel que cada espécie apresenta em cada um desses estratos.

A estrutura horizontal pode ser coetânea ou disetânea. A primeira, corresponde a uma floresta, na qual a maior parte dos indivíduos de uma ou várias espécies pertencem a mesma classe de idade ou tamanho. A segunda corresponde a uma floresta na qual os indivíduos se encontram distribuídos em várias classes de tamanho, em forma de "J-invertida", uma distribuição típica das florestas nativas (Louman *et al.*, 2001, citado por Ribeiro, *et al.*, 2002).

Segundo Lamprecht (1964) citado por Sanquetta, *et al.* (2009) a análise da estrutura vertical pode distinguir os seguintes estratos: o superior, que abrange as árvores cujas copas atingem o dossel mais alto da floresta, o médio abrange as árvores cujas copas encontram-se sob o dossel mais alto, o inferior, no qual a copa de seus integrantes encontra-se na metade inferior do espaço ocupado pela vegetação e que tem contacto com o estrato médio, e o sub-dossel, que inclui arbustos e pequenas árvores abaixo do estrato inferior.

Para que haja um aproveitamento racional e a sobrevivência das florestas é necessária a aplicação de técnicas silviculturais adequadas, baseadas na ecologia de cada tipo de formação florestal. A aplicação de projectos de Maneio Silvicultural adequados, assim como o aproveitamento permanente, implicam no conhecimento da composição e da estrutura da

floresta. Os resultados das análises estruturais permitem fazer deduções sobre a origem, características ecológicas e sin ecológicas, dinamismo e tendências do futuro desenvolvimento da floresta, elementos básicos, para o planeamento do Maneio Silvicultural (Hosokawa, 1988).

### **2.1.1. Abundância**

A abundância mede a participação das espécies em uma comunidade numa determinada área e pode ser expresso em termos absolutos e relativos. Abundância absoluta é definida como o número total de indivíduos pertencentes a uma determinada espécie por hectare, a abundância relativa é definida como a participação percentual de cada espécie no total de áreas, considerando o número total igual a 100% (Lamprecht, 1990)

### **2.1.2. Frequência**

Martins (1989) afirma que A frequência é dada pela probabilidade de se encontrar uma espécie numa unidade de amostragem e o seu valor estimado indica o número de vezes que a espécie ocorre, num dado número de amostras.

A Frequência exprime a percentagem de ocorrência ou ausência de uma espécie num determinado lugar. Este parâmetro dá uma ideia da distribuição das espécies no espaço de amostragem, e varia entre 0 a 100 %. Valores altos de frequência (61% - 100%) indicam uma composição florística homogénea, valores baixos (1% - 40%) significam alta heterogeneidade florística. Quanto maior for a extensão de respectiva parcela, maior é o número de espécies que passam a fazer parte das classes superiores de frequência (Ribeiro, *et al.*, 2002).

### **2.1.3. Dominância**

Segundo Hosokawa (1986) a dominância é a medida da projecção total da copa da planta e que a dominância de uma espécie é a soma de todas as projecções horizontais dos indivíduos pertencentes a esta espécie.

Galvão (1994) citado por Sanquetta, *et al.* (2009) afirma que embora definida originalmente como a área de projecção da copa por espécie e por unidade de área, utiliza-se a área basal dos

fustes, por haver estreita correlação entre ambas e por apresentar uma maior facilidade de obtenção desta informação. Este parâmetro procura expressar a influência de cada espécie em relação a comunidade, por meio de sua biomassa.

Em florestas densas, é difícil determinar a projecção horizontal de todas as copas das árvores, devido aos diversos estratos, que formam uma estrutura horizontal e vertical muito complexa. Por isto foi proposto que se utilize a área basal dos troncos das árvores como substituição à área da projecção das copas, pois existe entre elas uma estreita correlação (Cain, *et al.*, 1956 citado por Coraiola, 1997).

#### **2.1.4. Distribuição diamétrica**

De acordo com Tomé (2007) a distribuição de diâmetros de um povoamento corresponde a determinar a frequência das árvores de acordo com classes de diâmetro previamente fixadas. A amplitude das classes de diâmetro pode ser ajustada em função da espécie e da dimensão das árvores, mas a amplitude mais usual é a de 5 cm. Neste caso, considera-se a primeira classe de diâmetro com o valor central de 5, a “classe dos 5”, fechada à esquerda e aberta à direita: [2.5;7.5[. Ou seja, as árvores com diâmetro igual a 7.5 cm já são contabilizadas na classe com valor central de 10 cm, a “classe dos 10” (a qual fica portanto [7.5;12.4])

A distribuição de diâmetros obtida é posteriormente reduzida ao hectare e graficamente, é representada por um histograma ou, algumas vezes, por um polígono de frequências. A distribuição de diâmetros é um indicador da estrutura do povoamento, dando informações preciosas sobre as técnicas de silvicultura a seguir para um determinado povoamento (Tomé, 2007).

A análise da distribuição diamétrica, permite inferir sobre o passado e o futuro das comunidades vegetais. Sob o ponto de vista de produção, a estrutura diamétrica de uma floresta permite caracterizar o stock de madeira disponível antes de uma exploração, além de fornecer informações que auxiliam na tomada de decisões sobre a necessidade de reposição florestal. Conhecendo-se a estrutura diamétrica de um povoamento, será possível avaliar melhor o comportamento da espécie, considerando que todo manejo e actividades de

exploração comercial provocam alterações na estrutura diamétrica. Além disso, a análise da distribuição diamétrica permite estimar o número de árvores por unidade de área e por classe de diâmetro, permitindo obter informações mais detalhadas da estrutura do povoamento (Scolforo e Mello, 1997).

## **2.2. Processo de amostragem**

Amostragem consiste na selecção de uma parte (amostra) de uma população, colectando na parte seleccionada dados e informações de relativo interesse, com o objectivo de tirar conclusões (inferência) sobre a população no geral (Filho, *et al.*, 2003).

O processo de amostragem é a forma com que as unidades serão distribuídas sobre uma população florestal, visando gerar estimativas da variável de interesse. Os processos mais utilizados em inventários florestais são: Amostragem Aleatória Simples, Amostragem Estratificada, Amostragem Sistemática, Amostragem em Dois Estágios, Amostragem em Conglomerados e Amostragem com Múltiplos Inícios Aleatórios (Sanquetta, *et al.*, 2009).

Todas as estimativas feitas por amostragem estão sujeitas a erros que são normalmente medidos pelo erro padrão da média ou erro de amostragem. Uma estimativa será tão precisa quanto menor for o erro de amostragem a ela associado. Entretanto, não se deve esquecer da validade e dos aspectos práticos do inventário. Deve-se sempre lembrar que o objectivo principal de um levantamento é obter a melhor estimativa para uma população e não somente uma estimativa exacta do erro de amostragem (Hosokawa e Souza, 1987)

Segundo Loetsch e Haller, (1973) o método de amostragem para encontrar os objectivos do inventário florestal é determinado pelo tipo de unidade de amostragem, seu tamanho e forma, o número a ser empregado e a maneira de selecção e distribuição sobre a área florestal, seguidos pelos procedimentos para medições nas unidades seleccionadas e análise dos dados resultantes.



Nos levantamentos florestais é prática geral seleccionar uma amostra que corresponde a uma pequena parte da população da qual se deseja obter a informação. O verdadeiro valor de uma característica é um parâmetro que existe na natureza. Entretanto, pela observação de um certo número de unidades amostrais pode-se estimar a sua estatística correspondente (Hosokawa, 1986).

Em trabalhos de inventário florestal, a amostragem consiste em observar uma porção da população (floresta e suas características) para obter estimativas representativas de um todo. As unidades amostrais, nas quais as observações são realizadas, podem ser talhões, compartimentos, unidades administrativas, parcelas de área fixa, faixas ou pontos. A agregação de todas as unidades amostrais possíveis constitui a população. O grupo de unidades amostrais escolhidas para as observações e medições constitui a amostra. A amostragem, de um modo geral, proporciona as informações desejadas a um custo menor que a enumeração total (Husch *et al.*, 1982).

O conhecimento das técnicas de amostragem é um dos principais elementos para a obtenção de informações de um povoamento florestal com precisão, permitindo a definição de critérios para a execução do manejo da floresta visando a produção de benefícios directos e indirectos e a determinação de procedimentos a serem utilizados na conservação e preservação ambiental (Bonetes, 2003).

### **2.2.1. Amostragem sistemática**

O processo de amostragem sistemática consiste em estabelecer a aleatoriedade apenas da primeira unidade amostral, sendo que, posteriormente, as demais unidades amostrais serão localizadas segundo um padrão sistemático de distribuição espacial (Sanquetta, *et al.*, 2009).

O uso deste tipo de amostragem justifica-se pelo facto de apresentar vantagens como: custos reduzidos, a simplicidade de escolha das unidades amostrais e dos trabalhos de campo, na alta precisão das estimativas médias, tendo em vista que as unidades são distribuídas uniformemente sobre a área, abrangendo a maioria das peculiaridades da população. Uma outra vantagem, talvez a maior delas, é que com a adopção do método pode-se mapear a

população sem que seja necessário colectar informações adicionais (Hosokawa e Souza, 1987).

Uma desvantagem desse processo refere-se ao facto do processo não ser um procedimento probabilístico, já que as unidades amostrais não têm a mesma chance de comporem a amostra, com excepção da primeira unidade amostral. Outra desvantagem é a possibilidade de ocorrerem efeitos periódicos na população já que em populações biológicas existe uma variação periódica de local para local, apesar de seus elementos se encontrarem arrançados independentemente uns dos outros. Neste caso a amostragem sistemática deve ser revista, pois poderão ser obtidas estimativas superestimadas da média se as parcelas coincidirem com o efeito periódico que represente o limite superior dos elementos da população ou subestimar no caso oposto (Scolforo e Melo, 2006 citados por Sanquetta, *et al.*, 2009).

A amostragem sistemática dá bons resultados em populações onde a variável de interesse apresenta distribuição aleatória. A distribuição equiespaçada e regular das unidades da amostra permite obter estimativas bastante precisas sobre a população. É particularmente indicada na realização de levantamentos fitossociológicos, quando se procura caracterizar a estrutura da vegetação. Além disso, os custos e tempo de deslocamento entre parcelas são mais adequados para áreas de onde não se possuam mapas detalhados, impossibilitando a locação de parcelas casualizadas (Meunier, *et al.*, 2001).

### **2.2.2. Intensidade amostral**

É a razão entre o número de unidades da amostra e o número total de unidades da população, ou também pode ser expressa pela razão entre a área amostrada e a área total da população.

O número ideal de unidades amostrais a serem instaladas na floresta depende do grau de variabilidade da população. A intensidade amostral deve ser definida a partir de um inventário piloto, de um inventário realizado em uma população com características semelhantes ou ainda, a partir de estimativas aproximadas com base na experiência de executor. É importante sempre aferir a intensidade amostral com base na precisão, a qual é estabelecida via limite de erro especificado e probabilidade definida, geralmente 10% e 95%, respectivamente (Sanquetta, *et al.*, 2009).

### 2.2.3. Tamanho e forma das unidades amostrais

As unidades amostrais de área fixa utilizadas em trabalhos de inventário florestal são chamadas de parcelas ou faixas. O termo geral de parcelas refere-se a unidades amostrais de áreas até aproximadamente um hectare de tamanho e de diversas formas, como quadradas, retangulares e circulares. As faixas podem ser consideradas um tipo especial de parcelas retangulares, nas quais o comprimento é muitas vezes maior que a largura (Bonetes, 2003). As parcelas mais utilizadas em inventários florestais são quadradas e retangulares, sendo que as quadrangulares tem mais facilidade de instalação em florestas plantadas com alinhamento bem definido e as parcelas retangulares, que são utilizadas com dimensões maiores permite obter maior heterogeneidade ou variabilidade da floresta (Sanquetta, *et al.*, 2009).

Para Feese (1962) citado por Azevedo, *et al.* (2011) em inventários florestais, para qualquer sistema de amostragem utilizado, o tamanho e a forma da parcela têm considerável influência nos custos e na precisão. O melhor tamanho e forma de parcela é aquele que produz alto grau de exactidão, com custos reduzidos.

Segundo Loetsch e Haller (1973), a melhor forma de uma parcela é aquela que, para uma mesma área, possua menor perímetro. Teoricamente, o hexágono é a melhor forma, mas apresenta a desvantagem de ser muito difícil sua delimitação dentro do povoamento florestal. Embora parcelas circulares sejam as melhores depois das hexagonais, elas se tornam complicadas, quando se utilizam árvores de bordadura.

Em florestas suficientemente homogêneas, a precisão para uma determinada intensidade amostral tende ser maior para unidades amostrais pequenas em relação às maiores, porque o número de unidades amostrais independentes é grande. Entretanto, o tamanho de unidade amostral mais eficiente é também influenciado pela variabilidade da floresta. Quando pequenas unidades amostrais são utilizadas em florestas heterogêneas, altos coeficientes de variação serão obtidos. Nesses casos unidades amostrais maiores são recomendadas (Husch *et al.*, 1982).

### 2.3. Medição do DAP e altura das árvores na parcela

Segundo Tomé (2007) o diâmetro é uma das variáveis mais importantes na quantificação volumétrica, avaliação de biomassa ou estudo de crescimento, este é medido a altura de 1.30 m a partir do Solo, tomando-se como altura do peito.

O diâmetro à altura do peito (DAP) tem uma importância particular dentro das informações ao nível da árvore no decurso de um inventário florestal. As razões deste facto são as seguintes (Loetsch e Haller, 1973):

- É uma variável a que facilmente se tem acesso, podendo assim ser medida em todas as árvores das parcelas de inventário. Em comparação com outras variáveis da árvore, as medições de diâmetro são as mais fiáveis. Os erros de medição e as suas causas são reconhecíveis e podem ser limitadas a um valor mínimo através de instrumentos e métodos de medição adequados e através de uma execução cuidada das operações de medição.
- É a base para o cálculo de outras variáveis como a área seccional à altura do peito, a chamada área basal da árvore ( $g$ ), que é obtida através da fórmula e o diâmetro à altura do peito afecta o volume quadraticamente uma vez que o volume da árvore é, como veremos, o produto da área basal, altura ( $h_i$ ) e factor forma ( $f_i$ ):

A variável altura tal como o diâmetro, é uma importante característica da árvore ou do próprio povoamento florestal. É de grande importância no cálculo do volume e dos incrementos individuais ou do povoamento. As alturas podem ser medidas directamente ou indirectamente. As medidas directas são aquelas tomadas sobre a árvore, dependendo directamente da habilidade do operador, e as medidas indirectas as alturas são obtidas por estimativas usando instrumentos geralmente chamados de hipsómetros (Silva e Neto, 1979).

## 2.4. Equações hipsométricas

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, utilizando-se as relações matemáticas que possibilitam obter essas estimativas de forma indirecta através de equações de regressão (Schneider, 1998).

Ajustar uma regressão linear simples, isto é, a 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  $(\beta_1)$  e o coeficiente linear, que é a ordenada do ponto em que a recta corta o eixo das ordenadas, é representado por  $(\beta_0)$  (Vieira, 1980, citado por Sanquetta, *et al.*, 2009).

Sanquetta, *et al.* (2009) citam que os modelos hipsométricos são equações ajustadas que expressam a relação do diâmetro da árvore com a sua altura. Vários modelos estatísticos podem adequar-se à relação hipsométrica. Porém, o uso indiscriminado de tal relação pode levar a erros consideráveis, uma vez que vários factores podem influenciá-la, tais como posição sociológica, sítio, idade, densidade e práticas silviculturais em geral (Barros, *et al.*, 2002).

As relações hipsométricas podem ser classificadas em locais ou gerais, dependendo do seu domínio de aplicabilidade. As relações hipsométricas locais são em função apenas do diâmetro a 1.3 m, e são desenvolvidas para aplicação no povoamento onde se procedeu à recolha dos dados, ou em povoamentos que apresentem características análogas. As relações hipsométricas gerais, exprimem a altura da árvore em função do seu diâmetro a 1.3 m, mas recorrem também a variáveis do povoamento, tais como a altura dominante, o diâmetro dominante, a densidade, a idade e, eventualmente, a própria localização do povoamento. (Tomé, *et al.*, 2007).

## **2.5. Descrição da espécie plantada na área de estudo**

### **2.5.1. Taxonomia**

Família: Fabaceae

Sub-Família: (Ceasalpinioideae)

Nome Científico: *Afzelia quanzensis* Welw.

Nome Vernacular/Comercial: Chanfuta

### **2.5.2. Descrição**

*Afzelia quanzensis* é uma árvore decídua, média normalmente com 12 a 15 m de altura, podendo atingir 35 m em condições ideais. O tronco pode medir até 1 m de diâmetro e tem uma casca lisa de cor cinza-esverdeado ou creme, que é muito bem modelado com anéis de relevo que se descamam de forma irregular, deixando manchas circulares (Joker e Msanga, 2000).

As folhas são compostas, alternadas, podendo medir até 30 cm de comprimento e são divididas uma vez com 4-7 pares de folíolos com forma oval ou elíptica (Joker e Msanga, 2000). A inflorescência é racemo com flores cor-de-rosa avermelhado e o fruto é uma vagem discente, duro, liso de cor castanho-escuro, com 12-23 cm de comprimento, 5-10 cm de largura e 1,9 cm de espessura e contendo cerca de 6-10 sementes. As sementes são largas, alongadas, duras e brilhantes com um arilo vermelho ou alaranjado (Palgrave, 1983).

### **2.5.3. Distribuição da espécie e usos da madeira**

O seu habitat natural de distribuição no leste e sul da África, é em bosques e florestas secas de baixa altitude, cerca de 0-1800 m de altitude, com precipitação média anual de cerca de 1.000 milímetros e a temperatura média entre 17-30 ° C (Palgrave, 1983).

A *Afzelia quanzensis* cresce em florestas de baixa altitude e florestas secas, geralmente em solos profundos. Sua distribuição se estende do sul de Moçambique até ao Norte, e em outros países vizinhos como Zimbábue, África do Sul, e outros. Ela também é encontrada na Somália.

A madeira de chanfuta tem sido usada para a construção, móveis, painéis para revestimento e pavé (Palgrave, 1983).

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1. Descrição da área de estudo**

A área de estudo localiza-se no posto administrativo de Michafutene, Distrito de Marracuene na Província de Maputo. Encontra-se a 15 km da cidade de Maputo frente à estrada Nacional N°1. Possui uma área de 49,7ha dos quais 31,37ha para *Afzelia quansensis*, *Millettia stuhlmannii* tem 2,10ha sendo 0,72ha para *Amblygonocarpus andogenises* e a restante é ocupada pelas infraestruturas e área aberta. A plantação possui espaçamento de 5x5 metros e com efeito de bordadura de 10m.

##### **3.1.1. Altitude e Solos**

A altitude no posto administrativo de Michafutene varia de 0-50 metros do nível médio das águas do mar (Perreira, 1991). Os solos de Michafutene são classificados segundo Pereira e Mansur (1986) como sendo solos arenosos principalmente indicados para Silvicultura e apresentam uma textura grossa com mais de 60% de areia, menos de 20% de argila e mais de 80% de limo, variando em diferentes locais.

##### **3.1.2. Clima**

A sua situação geográfica reflecte a realidade do clima daquela região em geral embora ocorrem variações no padrão da distribuição de alguns parâmetros climáticos tais como a temperatura e a precipitação. Segundo Borrado (1962), citado por Pereira e Mansur (1986), a região é classificada como de clima sub-tropical com duas estações nomeadamente inverno e verão. O inverno concedera-se estação seca que estende-se do mês de Maio a Setembro e o verão é a estação chuvosa que estende-se do mês de Outubro a Abril. A precipitação média anual é de cerca de 670mm.

#### **3.2. Desenho amostral e tamanho da amostra**

Para a colheita de dados na floresta de Michafutene foi usada a amostragem sistemática por parcelas em estágio único, pois trata-se de uma plantação na qual a distribuição dos indivíduos é uniforme em toda área. Na amostragem sistemática com parcelas ou pontos amostrais, as

unidades de amostra (UA), são dispostas, segundo o intervalo regular de amostragem  $K$  em duas direcções perpendiculares, linhas (M) e colunas (N). Ela possui a vantagem de ser simples a sua instalação no campo, reduz os custos do inventário, além de que a sistematização proporciona uma boa estimativa da média e do total, devido a uniformidade da população (Meunier, *et al.*, 2001).

Com base na intensidade amostral de 12.5%, foram estabelecidas sistematicamente 31 parcelas na área de 31,37ha correspondente a *Afzelia quansensis*.

### **3.3. Localização das unidades amostrais e medições efectuadas dentro das parcelas**

A aleatorização foi feita somente para a primeira unidade amostral, e a localização desta assim como das restantes parcelas foi feita com ajuda do GPS e do mapa da floresta.

Os pontos foram lançados na área de estudo a distâncias de 100 x 100m, o que significa que estabeleceu-se uma parcela em cada 10000 m<sup>2</sup> ou 1 ha. O tamanho das parcelas inventariadas foi de 1250 m<sup>2</sup> (0.125ha), em forma rectangular de 50m x 25m.

O deslocamento de um ponto para o outro durante o estabelecimento das parcelas na área de estudo, foi possível com o uso do GPS e da bússola. Para cada parcela estabelecida eram registadas as coordenadas na ficha de campo. A demarcação das parcelas foi feita usando duas fitas métricas, uma de 100m e outra de 50m.

Dentro da parcela foram medidos os DAP's e as alturas totais de todas árvores com Diâmetro a Altura do Peito (DAP) maior ou igual a 10 cm. O Diâmetro a Altura do Peito (DAP) foi medido a 1.3 metros da base da árvore, com auxílio de uma suta metálica. Para as árvores com bifurcação abaixo de 1.3 metros, foi medida cada parte bifurcada como uma árvore individual. A altura total das árvores medidas foi obtida com auxílio do hipsómetro. A medida que se fazia a medição das árvores em cada parcela, estas eram pintadas ou marcadas com giz, para evitar omissão ou contagem dupla.

Para a realização do presente estudo foram medidas no total 561 árvores nas parcelas a cima referidas, das quais 543 foram usadas para ajuste dos modelos hipsométricos e as 18 restantes foram usadas para validação dos modelos seleccionados.



### 3.4. Análise de dados

A análise dos dados foi feita com o auxílio do Software *Excell*. Onde foi apresentada para a estrutura horizontal a Abundância e Dominância absoluta da espécie que ocorre na área de estudo, para a estrutura vertical a altura dominante (Hdom) e os respectivos estratos da floresta e por fim o ajuste dos modelos hipsométricos.

#### 3.4.1. Análise estrutural da floresta

##### 3.4.1.1. Estrutura horizontal

###### Abundância absoluta (Aba)

$$Aba = N/a;$$

Onde: N- número de indivíduos de cada espécie e a - Área amostrada (ha)

###### Dominância absoluta (Dab)

$$Dab = \sum ab/a$$

Onde: ab – área basal por espécie e a - Área amostrada (ha)

##### 3.4.1.2. Estrutura vertical

###### Determinação da altura dominante (Hdom)

A altura dominante é definida como sendo a altura média das 100 árvores de maior diâmetro por hectare.

###### Determinação dos estratos

Os estratos foram definidos de acordo com Leibunogut, (1985) citado por Lamprecht (1990):

**Estrato superior** - árvores com altura maior que 2/3 da altura dominante.

**Estrato médio** - para árvores com altura  $2/3 > Ht > 1/3$  da altura dominante.

**Estrato inferior** - para árvores com altura inferior que 1/3 da altura dominante.

### 3.4.2. Equações Hipsométricas

A partir dos dados de DAP e altura total colhidos no campo foi possível testar os modelos hipsométricos apresentados na tabela a seguir (Tabela 1):

**Tabela 1:** Equações hipsométricas testadas

Nr.	Equação	Autor(es)
1	$Ht = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * DAP^2$	Trorey, (1932) <sup>1</sup>
2	$Ht = \beta_0 + \beta_1 * DAP^2$	Azevedo <i>et al.</i> , (1999)
3	$Ht = \beta_0 + \beta_1 * \ln(DAP)$	Henricksen <sup>2</sup>
4	$Ht = \beta_0 + \beta_1 * DAP$	S/autor - (Linha Reta)
5	$\ln Ht = \beta_0 + \beta_1 * \ln(DAP)$	Stofel <sup>2</sup>
6	$\ln Ht = \beta_0 + \beta_1 * (1/DAP)$	Curtis (1967) <sup>1</sup>
7	$\ln Ht = \beta_0 + \beta_1 * \ln(DAP) + \beta_2 * (1/DAP)$	Silva (1980) <sup>3</sup>
8	$\ln Ht = \beta_0 + \beta_1 * DAP^2$	Azevedo <i>et al.</i> , (1999)

<sup>1</sup>Modelos citados por Ribeiro *et al.* (2009); <sup>2,3</sup>Modelos citados por Azevedo *et al.*, (2011).

Onde:

$\beta_0$ ,  $\beta_1$ , e  $\beta_2$  – Coeficientes da equação;

Ht – Altura total das árvores (m);

DAP – Diâmetro a Altura do Peito (cm);

Ln – Logaritmo natural (ou neperiano).

### 3.4.3. Critério de selecção do melhor modelo

Para selecção do melhor modelo foram observados os seguintes critérios estatísticos de escolha:

- Análise da variância;
- Coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ );
- Erro padrão da estimativa em metros (Syx) e em percentagem (Syx%);
- Análise gráfica dos resíduos, para verificar a ocorrência ou não de tendenciosidade nas estimativas da variável dependente.

### 3.4.3.1. Análise da variância

Segundo Pimentel-Gomes (2009) o teste básico para a análise de variância é o teste F, o qual consiste em uma estatística obtida por meio da análise de variância da regressão e indica se há significância no ajuste a um determinado nível de probabilidade, por meio da comparação do valor de F calculado com o valor de F tabelado. O valor de F determinará se a equação avaliada explica ou não a correlação entre as variáveis analisadas ( $F_{cal} > F_{crit}$  – regressão significativa).

Para a obtenção do F tabelado deve-se levar em consideração os graus de liberdade da regressão e do erro em função do nível de probabilidade desejado. Neste trabalho foi considerada a probabilidade de 95% ( $p < 0,05$ ).

$$F_{cal} = \frac{QMR}{QME}$$

Onde:

QMR - Quadrado médio da regressão

QME - Quadrado médio do erro

### 3.4.3.2. Coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ )

Segundo Francez, *et al.*, (2010) o coeficiente de determinação ajustado determina o quanto a variável y (dependente) é explicada pela variável x (independente), ou seja, determina a correlação entre as variáveis da equação. Este valor varia de 0 a 1 (ou de 0 a 100%) e quanto mais próximo de 1 (ou 100%), melhor ou mais preciso o modelo.

$$R^2_{aj} = 1 - \frac{n-1}{n-p} * R^2$$

$$R^2 = \frac{SQR}{SQT} * 100$$

Onde:

$R^2_{aj}$  = Coeficiente de Determinação Ajustado

$R^2$  = Coeficiente de Determinação

SQR = Soma dos Quadrados de Resíduo

SQT = Soma dos Quadrados Totais

n = Número de dados utilizados no ajuste

p = Número de parâmetros da equação

### 3.4.3.3. Erro padrão da estimativa em metros (Syx) e em percentagem (Syx%)

É o erro médio associado ao uso da equação. Quanto menor o valor do erro padrão da estimativa, menor será o erro associado ao uso da equação (Garosi, *et al.*, 2008). Esta estimativa pode ser obtida pela seguinte fórmula:

$$Syx = \sqrt{QME}$$

$$Syx\% = \frac{Syx}{\bar{X}} * 100$$

Onde:

$\bar{x}$  = Média

Syx = Erro padrão de estimativa

QME= Quadrado médio do erro

Para os modelos logaritmos é necessário calcular o índice de Furnival, que corrige as discrepâncias logarítmicas para efeito de comparação com o desvio padrão dos resíduos das outras equações (Francez, *et al* 2010). Esta estimativa pode ser obtida segundo os mesmos autores através da seguinte fórmula:

$$IF = e^{\frac{\sum \ln Ht}{n}} * Syx$$

$$IF\% = \frac{IF}{\bar{X}} * 100$$

Onde:

IF = Índice de Furnival

ln Ht = logaritmo natural da altura

n = número de observações

Syx = Erro padrão de estimativa

### 3.4.3.4. Análise gráfica dos resíduos

No gráfico de dispersão dos resíduos é observada a ocorrência da heteroskedasticidade, ou seja, variância heterogénea, e observa-se também se há bias no modelo testado (Garosi, *et al.*, 2008).

Os valores residuais foram obtidos pela diferença entre os valores observados da variável dependente (altura) e os valores estimados pela equação.

Os gráficos de resíduos foram construídos utilizando como ordenada os resíduos percentuais e como abcissa os valores das alturas estimadas, ou seja, variável dependente estimada.

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

Onde:

$E_i$  = Resíduo da observação  $i$

$\hat{Y}_i$  = Altura estimada da observação  $i$

$Y_i$  = Altura observada da observação  $i$

#### 3.4.4. Validação da equação seleccionada

A validação das equações de regressão, para estimar a altura das árvores na área do estudo, foi feita pela comparação das alturas observadas e as alturas estimadas pela equação seleccionada. Para essa comparação, foi utilizado o Teste Qui-quadrado ( $\chi^2$ ), entre as alturas obtidas pelas equações ajustadas ( $\hat{Y}$ ) e uma nova base de dados composta pelas alturas observadas ( $Y$ ). Foram no total 18 árvores usadas para a validação, as quais segundo Francez, *et al* (2010) não são incluídas no banco de dados originais utilizado para o ajuste das equações.

$$\chi^2 = \sum \frac{Y - \hat{Y}}{\hat{Y}}$$

Onde:

$\chi^2$  = Qui-quadrado calculado

$\hat{Y}$  = Altura estimada

$Y$  = Altura observada

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Descrição estatística dos dados analisados

A tabela 2 apresenta as estatísticas das 561 árvores medidas nas parcelas instaladas na área de estudo, onde a variável DAP apresentou a média de 17,778 cm e a altura apresentou uma média de 4,907 m.

**Tabela 2:** Descrição dos dados colhidos

Variável	DAP (cm)	Ht (m)
Media	17,778	4,907
Moda	10	5
Variância	81,1449	1,8118
Desvio padrão	9,0080	1,3460
Erro padrão	0,3803	0,0568
Mínimo	10	2
Máximo	66	12
Amplitude	56	10
CV%	50,6696	27,4311
Observações	561	561

### 4.2. Estrutura Fitossociológica

#### 4.2.1. Estrutura horizontal

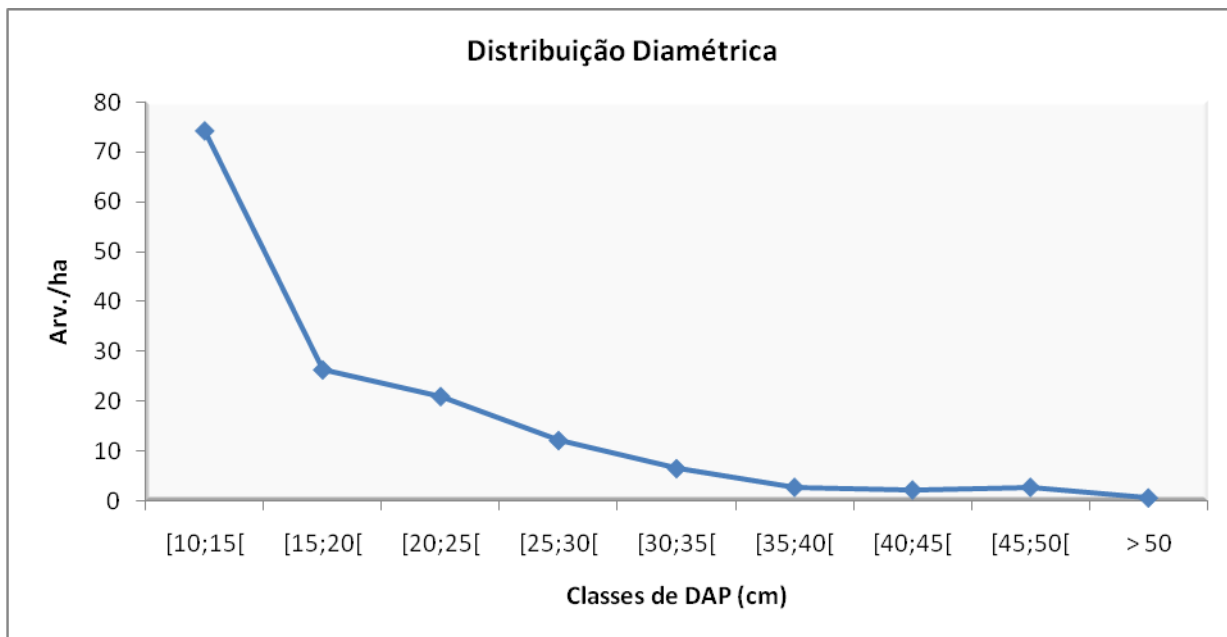
A tabela 3 mostra os principais parâmetros analisados para a caracterização estrutural da floresta. Foi encontrada uma abundância média de 145 árvores por hectare, e a estimativa para o total da população foi de 4542 árvores com DAP igual ou superior a 10 cm. A dominância média foi de 4,515 m<sup>2</sup> por hectare, a estimativa para o total da população foi de 141,629 m<sup>2</sup>.

**Tabela 3:** Parâmetros que descrevem a estrutura horizontal

Parâmetro	Abundância	Dominância
n	31	31
Media	145 Arv/ha	4,515 m <sup>2</sup> /há
População	4542 Arv.	141,629 m <sup>2</sup>

Os valores obtidos tanto para a abundância, assim como para a dominância são inferiores aos valores obtidos por Daima (2008), em um estudo realizado na mesma área onde obteve a abundância média de 168 árvores por hectare e a abundância total estimada entre 4938 e 4940 árvores, a dominância média de 6,61 m<sup>2</sup>/ha e dominância total estimada entre 194,33 e 194,35 m<sup>2</sup>.

Estas diferenças entre os resultados podem ser explicadas pela precisão do estudo ou pela alocação das parcelas em pontos diferentes, uma vez que o estudo foi realizado no mesmo povoamento. Permitiu-se deste modo detectar o estágio actual em que a floresta se encontra, pois ocorrem sempre alterações da estrutura devido a exploração ou regeneração, como já foi referido por Scolforo e Mello (1997) a importância da realização da análise estrutural da floresta.



**Figura 1:** Gráfico de distribuição diamétrica

A figura 1 mostra a relação entre as classes de DAP e o número médio de árvores por hectare da *Afzelia quanzensis*. A curva de distribuição diamétrica mostra a diminuição do número de indivíduos por unidade de área com o aumento do DAP, descrevendo uma curva do tipo “J” invertida típica de uma floresta nativa. Dado que trata-se de uma floresta plantada esperava-se que a maior parte dos indivíduos pertencessem a mesma classe de tamanho, apresentando maior abundância para árvores de tamanho médio em relação as árvores pequenas.

A distribuição diamétrica desta floresta em estudo, está de acordo com os resultados obtidos por Bila e Mabjaia (2012) no estudo do crescimento e fitossociologia de uma floresta natural de mopane na província de Gaza, e também está de acordo com os resultados obtidos por Daima (2008) no estudo realizado na mesma área.

Segundo Louman *et al.* (2001), citado por Ribeiro, *et al.* (2002), uma curva em forma de "J-invertida" corresponde a uma floresta nativa na qual os indivíduos se encontram distribuídos em várias classes de tamanho.

Neste caso a curva pode ser justificada pelo facto de tratar-se de uma plantação de uma espécie nativa em seu habitat natural, o que influencia bastante no seu comportamento. Associa-se a este motivo o facto de ser uma floresta a não manejada e explorar-se madeira para diferentes fins como foi verificado em algumas parcelas, mortalidades e regeneração por rebrotação a qual também não é manejada.

O diâmetro máximo medido na área de estudo foi de 66 cm. Cerca de 49,6% das árvores encontram-se na classe de DAP [10;15[ e 17,6% na classe de [15;20[, o que implica que cerca de 67,2% das árvores são pequenas (com DAP menor que 20 cm). Cerca de 28,7% das árvores são medias com DAP entre [20; 40[ e as restantes são árvores adultas.



#### 4.2.2. Estrutura vertical

A altura dominante da floresta de Michafutene foi de 5,7 metros. Com base nesta altura foram determinados seguintes estratos:

Estrato superior - árvores com altura maior que 3,8 metros

Estrato médio - árvores com altura entre 3,8 metros e 1,9 metros.

Estrato inferior - árvores com altura inferior 1,9 metros.

**Tabela 4:** Estratificação vertical da floresta

Estrato	Arv. Amostradas	N/ha (médio)	Total
Estrato Superior	458	119	3708
Estrato Médio	103	27	834
Estrato Inferior	0	0	0

Pela análise da tabela 4, notou-se a existência de maior número de árvores no estrato superior em relação ao estrato médio, por tratar-se de uma plantação de uma só espécie e que a maior parte dos indivíduos tem quase mesmo tamanho. O contrário acontece em uma floresta natural em que o maior número de árvores verifica-se no estrato inferior e no estrato médio, as quais são denominadas árvores pequenas (Lamprecht, 1990).

A ausência de árvores no estrato inferior foi devida a não medição das árvores com DAP entre 5 e 10 cm durante a realização do inventário, que são as árvores pequenas pertencentes ao estrato inferior.

### 4.3. Equações Hipsométricas Ajustadas

**Tabela 5:** Equações hipsométricas ajustadas para *Afzelia quanzensis*

Nr	Equação Ajustada
1	$Ht = 3,7276 + 0,0531 * DAP + 0,0006 * DAP^2$
2	$Ht = 4,2597 + 0,0016 * DAP^2$
3	$Ht = 0,5502 + 1,5647 * Ln (DAP)$
4	$Ht = 3,4579 + 0,0813 * DAP$
5	$Ln Ht = 0,6846 + 0,3136 * Ln (DAP)$
6	$Ln Ht = 1,8919 - 5,0008 * (1/DAP)$
7	$Ln Ht = -0,6636 + 0,6556 * Ln (DAP) + 5,9111 * (1/DAP)$
8	$Ln Ht = 1,4346 + 0,0003 * DAP^2$

A tabela 5 mostra as 8 equações ajustadas, das quais 4 aritméticas e 4 logarítmicas, com os seus respectivos coeficientes estimados.

#### 4.3.1. Selecção da melhor equação

As estatísticas apresentadas na tabela abaixo (Tabela 6) indicam a partir dos resultados da análise de variância que todas regressões são significativas, pois em todos casos os valores de F calculado (Fcal.) são maiores que os valores de F crítico (Fcrit.).

Nota-se também na tabela 6, que os modelos logarítmicos apresentaram melhor precisão na estimativa das alturas por apresentar menor erro padrão comparativamente com os modelos não logarítmicos.

O modelo 7 proposto por Silva (1980), foi o melhor em relação aos outros modelos ajustados neste trabalho, por apresentar menor valor do Índice de Furnival [IF (%) = 20,9505], que é o valor equivalente ao erro padrão da estimativa da altura para os modelos aritméticos e por apresentar também o valor do coeficiente de determinação ajustado maior em relação aos outros [ $R^2_{aj}$  (%) = 27,1295].

**Tabela 6:** Estatísticas de ajuste e precisão requerida para os modelos testados para *Afzelia quanzensis*

Nr	Modelo	Fcal	Fcrit	R <sup>2</sup> aj (%)	Sxy (%)	IF (%)
1	<b>Trorey</b>	99,8294	3,0124	26,7230	23,0316	
2	<b>Azevedo</b>	193,3921	3,8587	26,1975	23,1141	
3	<b>Henricksen</b>	175,6428	3,8587	24,3696	23,3985	
4	<b>Linha Reta</b>	198,0343	3,8587	26,6611	23,0413	
5	<b>Stofel</b>	192,1094	3,8587	26,0683		21,1025
6	<b>Curtis</b>	163,1986	3,8587	23,0331		21,5313
7	<b>Silva</b>	101,8925	3,0124	27,1295		20,9505
8	<b>Azevedo</b>	181,9865	3,8587	25,0332		21,2497

Segundo Sanquetta, *et al.*, (2009) a relação hipsométrica é mais instável que a relação volumétrica e implica em correlações menores entre a variável DAP e a altura, o que resulta em maiores valores do erro padrão da estimativa, não raramente ultrapassando 25%.

Azevedo, *et al.*, (2011) estudando relações hipsométricas para 4 espécies nativas do Brasil utilizando 12 modelos, dos quais 7 foram usados neste estudo [Trorey, Azevedo *et al.*, (1999), Henricksen, Stofel, Curtis, Silva (1980) e Azevedo *et al.*, (1999)], dos quais seleccionou o modelo proposto por Curtis, pois teve resultados mais satisfatórios para a estimativa de altura total para todas as espécies estudadas, apresentando valores de coeficiente de determinação ajustado (R<sup>2</sup>aj) superior a 67%, erro padrão da estimativa em percentagem [Syx (%)] inferior a 20%.

Bila (2010) estudou relações hipsométricas para Mopane na província de Gaza, onde testou 4 modelos também testados neste estudo, respectivamente, Trorey, Henricksen, Stofel e Curtis, tendo seleccionado o modelo de Henriksen que apresentava maior valor do coeficiente de determinação [R<sup>2</sup>aj (%) = 43,3527] e menor erro padrão da estimativa [Syx (%) = 19,4377].

Azevedo (2009) testou modelos de Trorey, Henricksen, Stofel, Curtis e Linha recta para *Eucalyptus sp*, dos quais o modelo de Linha recta mostrou melhor resultado tanto para o coeficiente de determinação, que foi de 17,16%, como para o erro padrão da estimativa, de 27,50 %.

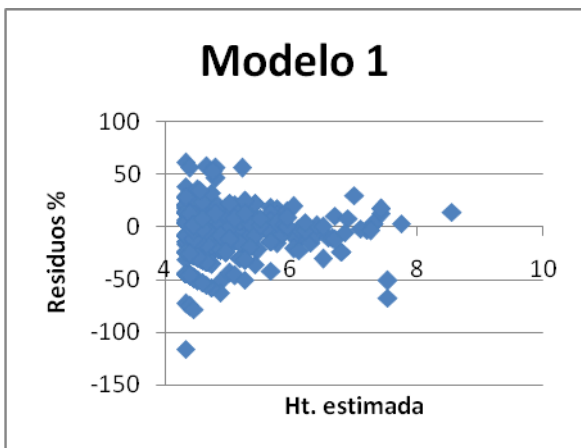
**Tabela 7:** Teste dos coeficientes das equações ajustadas

Nr	Modelo	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$
1	<b>Trorey</b>	3,7276**	0,0531**	0,0006 <sup>ns</sup>
2	<b>Azevedo</b>	4,2597**	0,0016**	
3	<b>Henricksen</b>	0,5502 <sup>ns</sup>	1,5647**	
4	<b>Linha Reta</b>	3,4579**	0,0813**	
5	<b>Stofel</b>	0,6846**	0,3136**	
6	<b>Curtis</b>	1,8919**	-5,0008**	
7	<b>Silva</b>	-0,6636 <sup>ns</sup>	0,6556**	5,9111**
8	<b>Azevedo</b>	1,4346**	0,0003**	

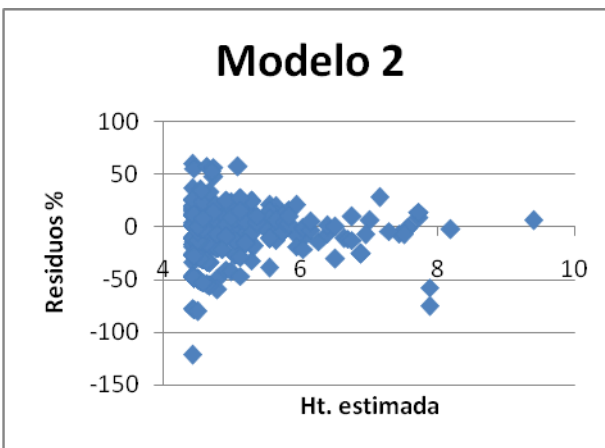
Legenda: \*\* (Significativo pelo teste 't') e ns – Não significativo pelo teste 't'

Em todos modelos ajustados, o coeficiente angular ( $\beta_1$ ), que dá a inclinação da recta é significativo, o que indica que há linearidade entre a variável dependente e a variável independente. O coeficiente linear ( $\beta_0$ ) é insignificativo para os modelos propostos por Henricksen e Silva, o coeficiente ( $\beta_2$ ) é insignificativo para o modelo de Trorey. Estes coeficientes não significativos pelo 'teste t' podem ser eliminados pois são considerados iguais a zero.

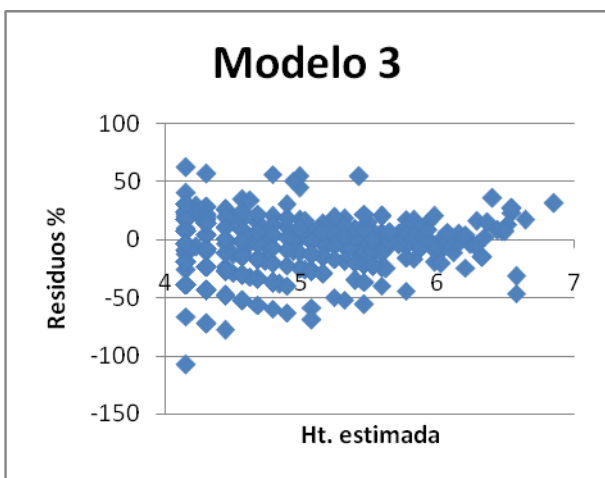
**Figura 2:** Gráficos da dispersão dos resíduos



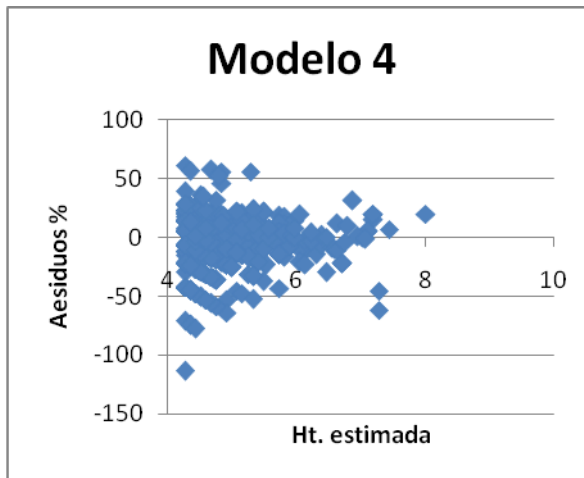
Trorey



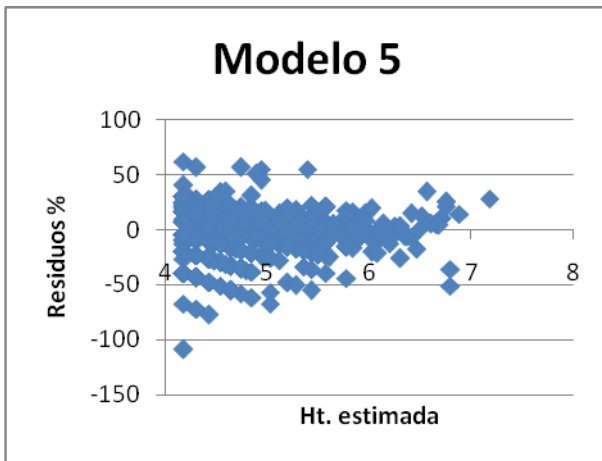
Azevedo *et al.* (1999)



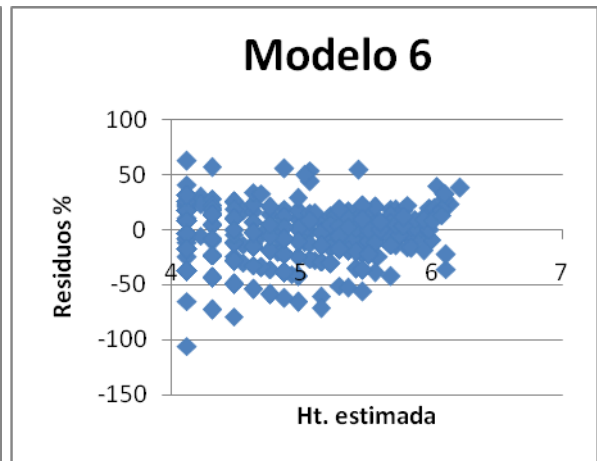
Henricksen



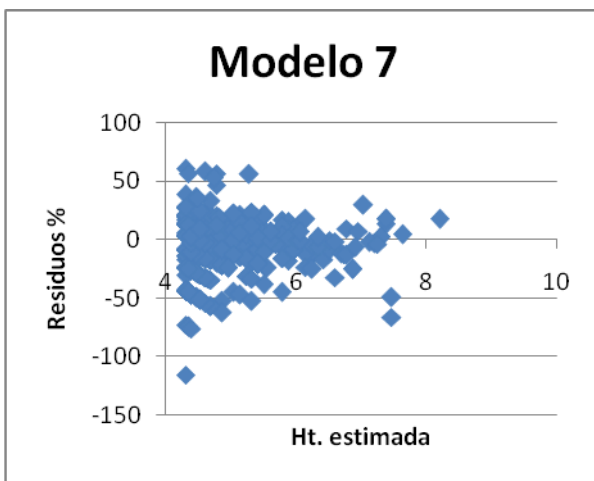
Linha Recta



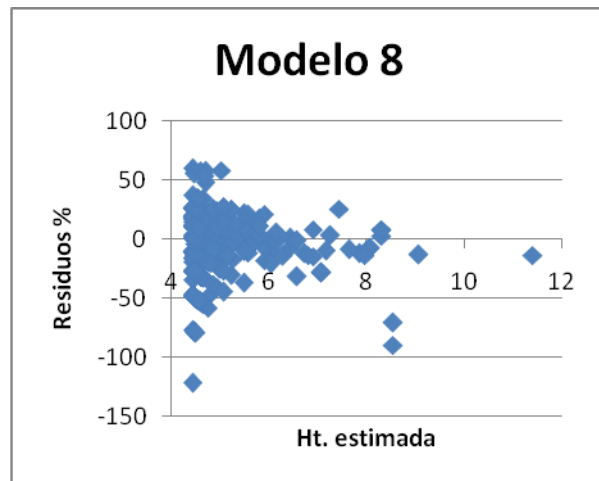
Stofel



Curtis



Silva



Azevedo *et al.* (1999)

Os gráficos da dispersão dos resíduos não apresentam diferenças significativas entre si, no que diz respeito as tendências de sobrestimar ou subestimar as estimativas da altura total das árvores. Todos os modelos estudados subestimam e sobrestimam as alturas no intervalo de alturas estimadas de 4 á 6 metros.

Os resultados da análise das estatísticas de ajuste, precisão e análise gráfica dos resíduos, indicam que o modelo  $\text{Ln Ht} = -0,6636 + 0,6556 * \text{Ln (DAP)} + 5,9111 * (1/\text{DAP})$ , proposto por Silva (1980) é o melhor modelo para as estimativas da altura total das árvores na área de estudo, com maior precisão.

#### 4.4. Validação da equação seleccionada

A equação seleccionada é válida para uma determinada região se o teste aplicado mostrar significância, isto é, se o Qui-quadrado calculado for menor que o Qui-quadrado tabelado. Segundo Francez, *et al.*, (2010) se o valor de  $\chi^2_{\text{calculado}} < \chi^2_{\text{crítico}}$  infere-se que os valores reais da variável de interesse usadas para a validação não diferem estatisticamente dos respectivos valores estimados pela equação seleccionada. Assim, pode-se afirmar que a equação seleccionada pode ser usada para as estimativas da variável de interesse na área estudada, sem perda na qualidade das estimativas.

##### Definição de hipóteses

Ho: O valor observado da altura total não difere do valor estimado pela equação seleccionada.

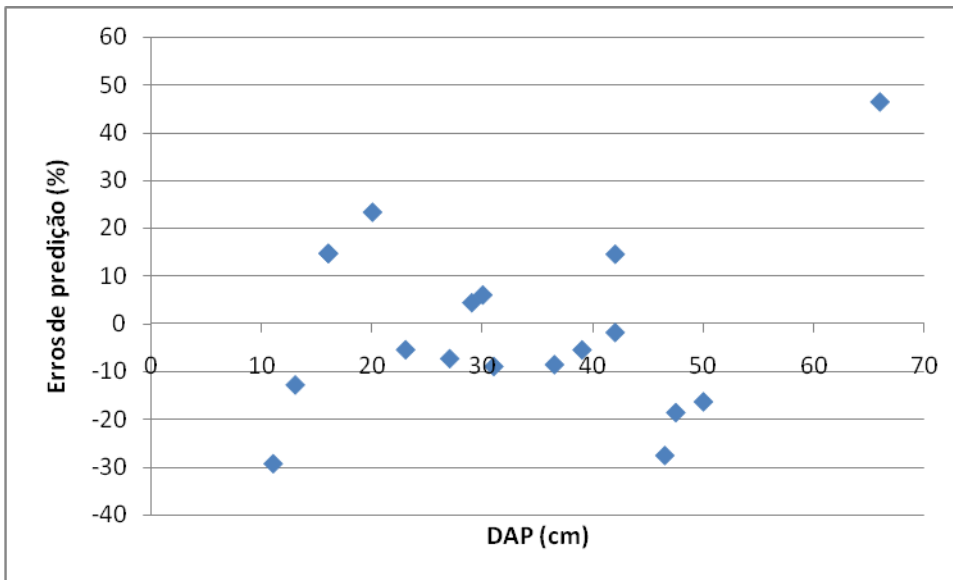
Ha: O valor observado da altura total difere do valor estimado pela equação seleccionada.

##### Cálculo do valor do teste estatístico

$\chi^2$ Calculado	4,0661
$\chi^2$ Critico	27,5871

De acordo com o teste Qui-quadrado ( $\chi^2$ ), não se rejeita a hipótese, nula isto é, não há diferenças estatisticamente significativas entre a altura observada e a altura estimada (a equação foi validada visto que  $\chi^2$  calculado é menor que  $\chi^2$  crítico).

A equação seleccionada é valida para estimar as alturas totais das árvores de *Afzelia quanzensis* no posto administrativo de Michafutene no distrito de Marracuene.



**Figura 3:** Dispersão gráfica dos erros de predição para a equação 7

Analisando o gráfico da dispersão gráfica dos erros de predição (Figura 3), podemos constatar que a equação proposta por Silva (1980) subestima as alturas do diâmetro de 15cm até 20cm e nos diâmetros acima de 65cm. A sobrestimativa pode ser verificada nos diâmetros de 11cm e no intervalo de 46 a 50cm, mas tais tendências foram consideradas insignificativas pelo teste Qui-quadrado.



## 5. CONCLUSÃO

Após a análise dos resultados do presente estudo, foram obtidas as seguintes conclusões:

- A abundância média foi de 145 árvores por hectare, e a estimativa para o total da área plantada de *Azelia quanzensis* foi de 4542 árvores. A dominância média foi de 4,515 m<sup>2</sup> por hectare, a estimativa para o total da população foi de 141,629 m<sup>2</sup>.
- A curva de distribuição diamétrica para a floresta em estudo é do tipo "J-invertida", que indica que a maior parte das árvores pertence as classes diamétricas inferiores.
- A análise da estrutura vertical da floresta permitiu a identificação dos estratos da floresta, onde o número de árvores por unidade de área diminuiu do estrato superior para os estratos inferiores.
- O modelo que melhor se ajustou aos dados do povoamento de *Azelia quanzensis* foi o modelo proposto por Silva (1980). O ajuste resultou na equação seguinte:  $\ln(H) = -0,6636 + 0,6556 * \ln(DAP) + 5,9111 * (1/DAP)$ .
- A equação seleccionada mostrou-se valida pelo teste Qui-quadrado ( $\chi^2$ ), e pode ser usada para a estimar as alturas totais da *Azelia quanzensis* em Michafutene no distrito de Marracuene.

## **6. RECOMENDAÇÕES**

- Diante do resultado obtido no presente trabalho e nos demais trabalhos feitos por outros autores, percebe-se que as espécies apresentam entre si comportamento diferenciado em relação a alguns modelos, deste modo, recomenda-se o ajuste de novas ou mais equações a fim de identificar aquelas mais adequadas a cada espécie de acordo com a região que esta encontra-se estabelecida.
  
- Recomenda-se que se faça um estudo incluindo relações hipsométricas gerais, as quais para além do DAP usam também a variáveis do povoamento, tais como a altura dominante, o diâmetro dominante, a densidade, a idade, etc., pois estes certamente podem estimar a altura com maior precisão.
  
- Recomenda-se que se faça um estudo da mesma natureza usando modelos não lineares para comparar a precisão e eficiência do seu uso na estimativa das alturas.
  
- Para que a estrutura da floresta seja estável recomenda-se que seja feito um manejo da regeneração por rebrotação e que sejam controlados os diâmetros explorados para diferentes fins.
  
- Recomenda-se para uma análise da estratificação vertical da floresta a inclusão de árvores pequenas com DAP entre 5 e 10 cm e avaliar a regeneração de modo a obter o número de árvores que compõem o estrato inferior.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Azevedo, G. B.; Sousa, G. T. O.; Silva, H. F., Barreto, P. A. B.; Novaes, A. B. (2011) *Selecao de modelos hipsometricos para quatro especies florestais nativas em plantio misto no planalto da conquista na bahia*. Enciclopedia Biosfera, Centro Cientifico Conhecer - Goiania, vol.7.
- Azevedo, C. P.; Muroya, K.; Garcia, L. C.; Lima, R. M. B.; Moura, J. B.; Neves, E. J. M. (1999) *Relacao hipsometrica para quatro especies florestais em plantio homogeneo e em diferentes idades na Amazonia ocidental*. Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, n. 39.
- Azevedo, T. L. (2009) *Ajuste de equações hipsométricas e volumétricas para um povoamento de Eucalyptus sp, localizado na floresta nacional do ibura, sergipe*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Sergipe, São Critóvão – SE.
- Barros, D., Machado, S.; Acerbí, F. W.; Scolforo, J. R. (2002); *Comportamento de Modelos Hipsométricas Tradicionais e Genéricos para Plantações de Pinus ocarpa em Diferentes Tratamentos*; Boletim de Pesquisa Florestal; Colombo
- Bila, J. M. (2010) *Relações Hipsométricas de Ecossistemas de Mopane em Mabalane na província de Gaza*. PFB, IIAM, Maputo.
- Bila, J. M., e Mabjaia, N. (2012) *Crescimento e fitossociologia de uma floresta com Colophospermum mopane, em Mabalane, Província de Gaza*. PFB, IIAM, Maputo.
- Bonetes, L. (2003) *Tamanho de parcelas e intensidade amostral para estimar o estoque e índices fitossociológicos em uma floresta ombrófila mista*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba.
- Coraiola, M., (1997) *caracterização estrutural de uma floresta estacional semidecidual localizada no município de cássia*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba.
- Couto, H. T. Z. e Bastos, N. L. M. (1987) *Modelos de equações de volume e relações hipsométricas para plantações de eucalyptus no estado de são paulo*. IPEF, n.37, p.33-44
- Cunha, U. S. (2004) *Dendrometria e Inventário Florestal*. MANAUS
- Daima, H. (2008); *Inventário Florestal de Plantação de Chanfuta: Michafutene no Distrito de Marracuene*; Projecto Final; Maputo.

- DEF (2003). *Programa de investigação florestal do Departamento*. FAEF, UEM, 1p.
- Garosi, V. A.; Gorenstein, M. R.; GOMES, J. E. (2008) *Inventário florestal e recomendações de manejo para a floresta estadual de Assis*. In Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal, FAEF. SP.
- Filho, A. D. M.; Bravo, C. V.; Roque, R. A. M.; Andrade, W. F. (2003) *Utilização de métodos estatísticos em inventário florestal*. USP, PIRACICABA.
- Francez, L. M. B.; Souza, D. V.; Takehana, C. L. I.; Barros, P. L. C (2010) *Manual para análise de inventário florestal e equação de volume em projetos de manejo florestal sustentável – PMFS*. SEMA, Belém-Pará.
- Hosokawa, R. T. (1988) *Introdução ao manejo e economia florestal*. Curitiba: UFPR.
- Hosokawa, R.T. (1986) *Manejo e economia da floresta*. Roma. FAO
- Hosokawa, R.T. e Souza, A.L. (1987) *Amostragem para fins de manejo*. Curso de Manejo Florestal. Brasília - DF, v. 5, 25p.
- Husch B.; Miller, C. I.; Beers, T. W. (1982) *Forest Mensuration*. United States Of America, 3<sup>rd</sup> edition.
- Joker, D. e Msanga H. P. (2000) *Afzelia quanzensis Welw*. Danida Forest Seed Centre, Denmark.
- Lamprecht, H. (1990) *Silvicultura Nos Trópicos*. RFA. Eschborn.
- Loetsch, F. e Haller, K. E. (1973) *Forest Inventory*. Volume 1, 2<sup>nd</sup> edition. Germany.
- Martins, F. R. (1989), *Fitossociologia de Florestas no Brasil: um histórico bibliográfico*. Pesquisas – Série Botânica, São Leopoldo, n. 40, p.103 –164.
- Meunier, I. M. J.; Silva, J. A. A.; Ferreira, R. L. C. (2001) *Inventário Florestal*. UFRPE. Recife.
- Palgrave, K.C. (1983). *Trees of Southern Africa*. Struik Publishers, South Africa.
- Pereira, C. R. e Mansur, E. (1986), *Inventário florestal das unidades de Michafutene e Marracuene*. Projecto FO<sub>2</sub>, DNFFB - UEM, Maputo.45 pp
- Pimentel-Gomes, F. (2009). *Curso de Estatística Experimental*. Piracicaba: FEALQ, 451p.
- Ribeiro, N; Siteo, A. A; Guedes, B. S; Staiss, C. (2002) *Manual de Silvicultura Tropical*. UEM. FAEF/DEF.

- Ribeiro, A.; Filho, A. C. F.; Mello, J. M.; Ferreira, M. Z.; Lisboa, P. M. M.; Scolforo, J. R. S. (2009) *Estratégias e metodologias de ajuste de modelos hipsométricos em plantios de Eucalyptus sp.* Cerne, Lavras, v. 16, n. 1.
- Sanquetta, C. R.; Watzalawick, L F.; Corte, A. P. D.; Fernandes, L. A. V.; Siqueira, J. D. P. (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.
- Schorn, L. A. (2006) *Fitossociologia*. Blumenau. URB/DEF.
- Scolforo, J. R. S, e Mello, J. M. (1997) *Inventário Florestal*. Lavras. UFLA/FAEPE.
- Silva, J. A. A. e Neto, F. P. (1979) *Princípios básicos de dendrometria*. UFRPE, Brasília, 188p.
- Tomé, M.; Ribeiro, F. e Sónia; (2007) *Relações Hipsométricas Geral para Eucalyptus globulus Labill em Portugal*; ISA/DEF Lisboa.
- Tomé, M. (2007); *Inventariação de Recursos Florestais, Caracterização e monitorização de povoamentos e matos*. Volume II Textos pedagógicos do GIMREF, TP-2.

## ANEXOS

### Anexo 1: Ficha de campo para levantamentos dendrométricos

Parcela # \_\_\_\_\_ Latitude \_\_\_\_\_ Longitude \_\_\_\_\_ Altitude \_\_\_\_\_

Árvore	Nome Local	Nome científico	DAP (cm)	Altura total (m)	Altura comercial (m)	Observações
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						

**Anexo 2:** Dados usados para o cálculo da abundância e dominância.

<b>Parcela Nr.</b>	<b>Arv/parcela</b>	<b>Arv/ha</b>	<b>Area basal (m<sup>2</sup>/parcela)</b>	<b>Area basal (m<sup>2</sup>/ha)</b>
1	6	48	0,114	0,910
2	40	320	0,742	5,936
3	4	32	0,037	0,292
4	5	40	0,103	0,828
5	14	112	0,245	1,958
6	26	208	0,368	2,943
7	34	272	0,362	2,895
8	7	56	0,068	0,545
9	12	96	0,204	1,630
10	15	120	0,672	5,379
11	5	40	0,119	0,953
12	4	32	0,047	0,377
13	15	120	0,333	2,667
14	20	160	0,283	2,261
15	0	0	0,000	0,000
16	21	168	0,358	2,861
17	21	168	0,513	4,108
18	17	136	0,221	1,770
19	18	144	0,300	2,404
20	32	256	0,876	7,006
21	15	120	0,553	4,422
22	16	128	0,423	3,388
23	16	128	0,592	4,734
24	23	184	0,698	5,581
25	27	216	0,698	5,587
26	30	240	0,968	7,747
27	13	104	1,420	11,362
28	24	192	0,671	5,368
29	34	272	1,150	9,198
30	35	280	2,777	22,216
31	12	96	1,579	12,635
<b>Total</b>	<b>561</b>	<b>4488</b>	<b>17,495</b>	<b>139,959</b>

**Anexo 3:** Dados usados para a análise da distribuição diamétrica.

Classe DAP	N/parcela	N/ha (medio)	%
[10;15[	278	71,74193548	49,554
[15;20[	99	25,5483871	17,647
[20;25[	79	20,38709677	14,082
[25;30[	46	11,87096774	8,200
[30;35[	25	6,451612903	4,456
[35;40[	11	2,838709677	1,961
[40;45[	9	2,322580645	1,604
[45;50[	11	2,838709677	1,961
> 50	3	0,774193548	0,535
<b>Total</b>	<b>561</b>	<b>144,7741935</b>	<b>100</b>

**Anexo 4:** Dados usados para a validação

Arv. Nr.	DAP (cm)	Ht (m)	Ln DAP	1/DAP	Ln Ht	Ht estim	$\chi^2$
1	11	6	2,3979	0,0909	1,4459	4,2456	0,7250
2	13	5	2,5649	0,0769	1,4727	4,3611	0,0936
3	16	4	2,7726	0,0625	1,5236	4,5888	0,0755
4	16	4	2,7726	0,0625	1,5236	4,5888	0,0755
5	20	4	2,9957	0,0500	1,5960	4,9334	0,1766
6	23	5.5	3,1355	0,0435	1,6491	5,2023	0,0170
7	27	6	3,2958	0,0370	1,7162	5,5631	0,0343
8	29	5.5	3,3673	0,0345	1,7479	5,7426	0,0102
9	31	6.5	3,4340	0,0323	1,7785	5,9209	0,0566
10	30	5.5	3,4012	0,0333	1,7633	5,8319	0,0189
11	36,5	7	3,5973	0,0274	1,8568	6,4035	0,0556
12	39	7	3,6636	0,0256	1,8899	6,6187	0,0220
13	42	7	3,7377	0,0238	1,9277	6,8734	0,0023
14	42	6	3,7377	0,0238	1,9277	6,8734	0,1110
15	46,5	10	3,8395	0,0215	1,9808	7,2483	1,0446
16	47,5	9	3,8607	0,0211	1,9920	7,3305	0,3802
17	50	9	3,9120	0,0200	2,0194	7,5342	0,2852
18	66	6	4,1897	0,0152	2,1728	8,7830	0,8818
						$\chi^2$ calc	4,0661
						$\chi^2$ crítico	27,5871



