



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA
DIVISÃO DE AGRICULTURA
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Projecto Final

**Ajuste de modelos para estimativa de volume e determinação de factor de forma comercial
de *Brachystegia spiciformis* (Messassa) na Concessão da empresa LevasFlor**

Monografia apresentada e defendida como requisito para obtenção do Grau de Licenciatura em
Engenharia Florestal

Autora: Iolanda Greedes Fernando Marcolino

Supervisor: Eng^o. Severino José Macôo

Lionde, Dezembro de 2021



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA
DIVISÃO DE GRICULTURA
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Projecto de Licenciatura sob o tema: “Ajuste de modelos para estimativa de volume e determinação de factor de forma comercial de *Brachystegia spiciformis* (Messassa)” apresentado ao Curso de Engenharia Florestal na Divisão de Agricultura do Instituto Superior Politécnico de Gaza, como requisito para obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Florestal.

Supervisor: Severino José Macô
(Eng.º Severino José Macô)

Avaliador 1: Pedro Venâncio Wate
(Eng.º Pedro Venâncio Wate, MSc)

Avaliador 2: Agnaldo Viriato Ubisse
(Eng.º Agnaldo Viriato Ubisse)

Lionde, Dezembro de 2021

ÍNDICE

Lista de Tabelas	i
Lista de Figuras	ii
Lista de Anexos	iii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	iv
I. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Contextualização	1
1.2. PROBLEMA E JUSTIFICAÇÃO	2
1.3. OBJETIVOS	3
1.3.1. Geral	3
1.3.2. Específicos.....	3
II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Recursos Florestais em Moçambique	4
2.2. Caracterização da Floresta de Miombo.....	4
2.3. Distribuição geográfica.....	5
2.4. Uso de <i>Brachystegia spiciformis</i> (Messassa).....	5
2.5. Descrição da espécie em estudo.....	5
2.6. Volumetria.....	6
2.6.1. Xilometria.....	6
2.6.2. Cubagem rigorosa.....	7
2.7. Modelos volumétricos	8
2.8. Modelos de regressão	9
2.8.1. Modelo de Regressão não linear.....	9
2.8.2. Avaliação da qualidade de ajuste.....	9
2.8.3. Critério de informação de Akaike	9

2.8.4. Critério de informação de Bayesiano (BIC).....	9
2.8.5. Erro padrão da estimativa (Syx).....	10
2.8.6. Coeficiente de determinação ajustado (R ² _{aj}).....	10
2.8.7. Análise gráfica dos resíduos (%).....	10
2.9. Factor de forma.....	11
III. METODOLOGIA.....	12
3.1. Descrição da área em estudo.....	12
3.2. Clima.....	12
3.3. Vegetação.....	13
3.4. Fauna.....	13
3.5. Vias de acesso.....	13
3.6. Materiais e Métodos.....	14
3.6.1. Materiais.....	14
3.6.2. Métodos.....	14
IV. ANÁLISE DE DADOS.....	16
4.1. Processamento de dados.....	16
4.1.1. Determinação do volume comercial.....	16
4.1.2. Ajuste de modelos.....	16
4.1.3. Avaliação da qualidade de ajuste dos modelos.....	17
4.1.4. Critério de Informação de Akaike (AIC) e Bayesiana (BIC).....	17
4.1.5. Erro padrão de estimativa (Syx).....	17
4.1.6. Distribuição gráfica dos resíduos.....	17
4.1.7. Validação dos modelos seleccionados.....	17
4.2. Factor de forma.....	18
V. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	19
5.1. Análise descritiva dos dados.....	19

5.2. Ajuste de modelos	20
5.3. Avaliação e selecção dos melhores modelos	20
5.4. Análise gráfica dos resíduos	22
5.5. Validação dos melhores modelos ajustados de dupla entrada	23
5.5.1. Hipóteses	23
5.6. Tabela de volume de Messassa para concessão florestal da empresa LevasFlor	25
5.7. Factor de forma.....	28
VI. CONCLUSÕES	30
VII. RECOMENDAÇÕES	31
VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32
IX. ANEXOS	iii

Lista de Tabelas

TABELA 1: NOMENCLATURA E DESCRIÇÃO DE <i>BRACHYSTEGLIA SPICIFORMIS</i> (MESSASSA).....	5
TABELA 2: MODELOS DE SIMPLES ENTRADA PARA O VOLUME	8
TABELA 3: MODELOS DE DUPLA ENTRADA PARA O VOLUME.....	8
TABELA 4: MATERIAL USADO	14
TABELA 5: NÚMERO DE ÁRVORES CUBADAS EM DIFERENTES CLASSES DE DIÂMETRO.....	15
TABELA 6: MODELOS AJUSTADOS	16
TABELA 7: ESTATÍSTICA DESCRITIVA DE DAP, ALTURA COMERCIAL E VOLUME	19
TABELA 8: VALORES DOS COEFICIENTES ESTIMADOS PELOS MODELOS AJUSTADOS COM AS VARIÁVEIS (DAP E Hc) E EQUAÇÕES GERADAS	20
TABELA 9: ESTATÍSTICAS DE AJUSTE E PRECISÃO DOS MODELOS AJUSTADOS	20
TABELA 10: RESULTADOS DE VALIDAÇÃO DAS EQUAÇÕES	23
TABELA 11: TABELA DE VOLUME COMERCIAL PARA ESPÉCIE DE MESSASSA PARA A CONCESSÃO LEVASFLOR USANDO A EQUAÇÃO DE TAKATA $V_C = (DAP^2 * Hc) / (5236.9 + 185.2 * DAP)$	25
TABELA 12: TABELA DE VOLUME COMERCIAL PARA ESPÉCIE DE MESSASSA PARA A CONCESSÃO LEVASFLOR USANDO A EQUAÇÃO DE SCHUMMACHER-HALL ($V_C = 0.0008921 * DAP^{1.3375950} * Hc^{1.0144084}$).....	27
TABELA 13: PARÂMETROS DAS AMOSTRAS USADAS PARA DETERMINAR O FACTOR DE FORMA COMERCIAL, ESTIMATIVAS DO VOLUME REAL E VOLUME DO CILÍNDRICO PARA MESSASSA EM CONDUE.....	28

Lista de Figuras

FIGURA 1: MAPA DE LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ÁREA ESTUDO	12
FIGURA 2: PROCEDIMENTOS EMPREGADOS NO CAMPO NA COLECTA DE DADOS	15
FIGURA 3: GRÁFICOS DE DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS EM FUNÇÃO DO DAP E DA VARIÁVEL ESTIMADA PARA AS QUATRO EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS DE SIMPLES E DE DUPLA ENTRADA .	22
FIGURA 4:GRÁFICO DE DISPERSÃO DOS ERROS DE PREDIÇÃO DAS EQUAÇÕES DE TAKATA E SCHUMACHER-HALL RESPECTIVAMENTE.....	24
FIGURA 5: RELAÇÃO DAP (CM) E FACTOR DE FORMA COMERCIAL	28

Lista de Anexos

ANEXO 1: ILUSTRAÇÕES SOBRE A LEITURA DE DAP PARA ÁRVORES COM FORMATO OU POSIÇÃO IRREGULAR	III
ANEXO 2: FICHA DE CAMPO USADO NA COLECTA DE DADOS DE ÁRVORES EM PÉ	IV
ANEXO 3: FICHA DE CAMPO PARA ÁRVORES ABATIDAS	V
ANEXO 4: DADOS DAS ÁRVORES USADAS PARA DETERMINAÇÃO DO FACTOR DE FORMA COMERCIAL PARA MESSASSA	VI

LISTA DE ABREVIATURAS

AIC- Critério de Informação de Akaike

BIC- Critério de Informação Bayesiana

cm- centímetros

DAP- Diâmetro Altura do Peito

DMC- Diâmetro Mínimo de Corte

ffc- factor de forma comercial

ha - hectar

Hc- Altura Comercial

m- Metros

MAE - Ministério da Administração Estatal

Syx- Erro Padrão da Estimativa

V- Volume

X²- Qui-quadrado

REDD+- Redução de Emissões de Desmatamento e Degradação Florestal



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

DECLARAÇÃO

Declaro por minha honra que este trabalho de culminação do curso é resultado da minha investigação pessoal e das orientações do meu supervisor, o seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas no texto, nas notas e na bibliografia final.

Declaro ainda que este trabalho não foi apresentado em nenhuma outra instituição para propósito semelhante ou obtenção de qualquer grau académico.

Lionde, Dezembro de 2021

(Iolanda Greedes Fernando Marcolino)

DEDICATÓRIA

Ao meu pai José Marcolino

minha mãe Maria Fernando (em Memória)

e a Minha Irmã Helena Marcolino (em Memória)

com todo amor e carinho e por tudo que sempre fizeram por mim dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida e por contar no dia-a-dia tanto em momentos difíceis como de alegria e na realização deste trabalho.

Aos meus pais, José Marcolino e Maria Fernando (em memória), que dia e noite lutaram incansavelmente para minha formação. Agradeço pelo amor e paciência, e por sempre acreditar em mim, deixando dos seus próprios sonhos em favor dos meus.

Agradecer aos meus irmãos Helena Marcolino (em memória), Fátima Marcolino, dra. Rosa Marcolino, dr. Nelson Marcolino, Marcolino Bicula e dr. Fernando Marcolino pelo apoio e motivação. E aos meus sobrinhos Helena Marcolino, Mário Massango, Anastácia Massango, Stiven Gomes, Rihanna Gomes, Brigitte Marcolino por sempre torcer e me esperar dia e noite para a tia voltar com um diploma na mão.

A minha tia Margarida Marcolino, primos Guterres Budane, dra. Valerdina Manhonga e Lyandra Manhonga por terem me dado a força principalmente em momentos difíceis.

Agradeço em especial ao Eng^o. Severino Macôo pela dedicação e paciência que até ultrapassou a função de tutor o meu muito obrigado estendesse também para o Dr. Mário Sebastião Tuzine (phD) pelo apoio técnico na redacção do presente trabalho.

Meu muito obrigado vai também para os Docentes da Divisão de Agricultura em especial aos Docentes do curso de Engenharia Florestal nomeadamente Eng^o. Pedro Venâncio Wate (Msc), Eng^o. Emídio Matusse (MSc), Eng^a. Juvência Yolanda Malate (MSc), Eng^o. Edson Chilaquene Massingue (MSc), Dr. Arão Raimundo Finiasse (MSc) e dr. Sérgio Bila pelos ensinamentos dados ao longo da minha formação.

Obrigada ao ISPG pela oportunidade de realizar o meu curso e pelas inúmeras oportunidades de apreender, o obrigadão mesmo ao ISPG.

Agradecer a empresa LevasFlor pela receção e apoio de material no momento da colecta dos dados em especial a todos que estiveram envolvidos directamente ou indirectamente no presente trabalho especialmente a Eng^a. Cláudia, Técnico Jaime Couto, Técnico Machir, Técnico Elídio e o senhor Arnaldo pelas orientações dadas e ajuda no campo.

Ajuste de modelos para estimativa de volume e determinação de factor de forma comercial de *Brachystegia spiciformis* na Concessão da empresa LevasFlor

Agradecer aos amigos inesquecíveis Eng^a. Wandinha Massingue, Eng^a. Atija Mavila, dra. Saquina, dra. Vanessa Machava, Herculano Bando, Eng^a. Maria Jossefina Muchanga, Eng^o. João Andimo, dra. Adolência, Neusa Sambo, Nilsa Tinga, Arcélia, Élvia Emídio, Amizade, dra. Tamires, Eng^o. António Ngovene (MSc), Eng^o. Beto Tenente, Eng^o. Rafael Nanelo, Eng^o. Belsom Elias, Eng^o. Alexandre Abrantes, Eng^o. Neves e Eng^o. Arlindo Monguela Maphoissana.

Aos amigos da Residência do ISPG, ao grupo coral ISPG, ao Grupo teatral Os Massokos ISPG, Grupo de dança ISPG, Grupo de desfile Greedes 2019, a DSS em especial atenção para dra. Terezinha Macamo e AEISPG pela confiança e oportunidades que me foram colocadas.

Aos companheiros de batalha, Eng^o. João Chibue Domingos, Gerson Vilanculos, Edson Machava, Eng^o. Inocêncio Vasco, Eng^o. Rassul Moreira, Nélia Muendane, Eng^o. Timóteo Simone, Saide, Denilsom, Sara Israel e a turma em geral de Engenharia Florestal 2016 que dia e noite estivemos focados no nosso objetivo que é a nossa formação apesar das dificuldades encontradas ao longo da caminhada e agradecer directamente e indirectamente a todos que cruzaram meu caminho durante a minha formação que não pude mencionar que contribuíram para a realização desse trabalho e dos meus sonhos.

A todos que, directa ou indirectamente, contribuíram para a realização deste trabalho,

Vai o meu muito obrigado.

Ajuste de modelos para estimativa de volume e determinação de factor de forma comercial de *Brachystegia spiciformis* na Concessão da empresa LevasFlor

“Tudo aquilo que o Homem ignora, não existe para ele.

Por isso o universo de cada um, se resume
no tamanho de seu saber.”

Albert Enister

“Uma resposta aproximada para um problema certo
vale muito mais do que uma resposta exata
para um problema aproximado”

John Wilder Tukey

“Olha atentamente a natureza e vai
compreender tudo o resto

Albert Einstein

Treine sua mente para buscar soluções e não
problemas

Bill Gates

RESUMO

A quantificação da madeira em floresta nativa é de extrema importância no planeamento e uso da madeira pois exige métodos eficientes de estimativas do volume sendo assim possível quantificar o estoque presente de maneira eficiente e precisa nos ecossistemas florestais. O estudo foi realizado no distrito de Cheringoma no povoado de Condue, na Concessão da Empresa LevasFlor no Bloco 18. Teve como objectivo ajustar modelos volumétricos e determinar o factor de forma para volume comercial de *Brachystegia spiciformis* (Messassa) na Concessão da empresa LevasFlor. Para a colecta de dados foi usado o método destrutivo e não destrutivo usando a amostragem por conveniência. Foram seleccionadas 55 árvores com Diâmetro Mínimo de Corte (40 cm), antes do abate mediu-se o DAP e depois do abate mediu-se a altura comercial. As mesmas árvores foram cubadas rigorosamente pelo método de *Smalian*. A cubagem consistiu na divisão dos toros em várias secções de 1m de comprimento nos quais foram medidos os diâmetros da base, diâmetro do topo e comprimento de cada secção para calcular o volume do toro. Das 55 árvores foram seleccionadas aleatoriamente 35 amostras para o ajuste e as restantes 20 amostras para a validação. Foram ajustados quatro modelos, dos quais dois de simples e dois de dupla entrada, usando os parâmetros da avaliação da qualidade de ajuste: o critério de informação akaike, critério de informação bayesiano, erro da estimativa e análise gráfica dos resíduos e no fim foi validado o modelo que apresentou melhores resultados com base no teste de X^2 . Os resultados mostram que o factor de forma comercial foi de 0,84. O modelo de Takata $(DAP^2 * Hc) / (5236.9 + 185.2 * DAP)$ e Shummacher-Hall $(Vc = 0.0008921 * DAP + 1.3375950 * Hc + 1.0144084)$ tiveram melhores estatísticas, o que determinou a sua selecção para a estimativa de volume comercial de Messassa. Com erro de estimativa absoluto e percentual aceitável (0,2261659 e 14,51462%) e (0,2267705 e 14,55341%), menores valores de critérios de informação AIC e BIC (-1,864772 e 2,801272) e (0,3220816 e 6,543474), respectivamente. A distribuição gráfica dos resíduos mostrou-se com tendência de subestimativa.

Palavras-chaves: Ajustar; Modelos; Volume.

Abstract

The quantification of wood in native forest is extremely important in the planning and use of wood as it requires efficient methods of estimating the volume, making it possible to quantify the stock present efficiently and accurately in forest ecosystems. The study was carried out in the district of Cheringoma in the village of Condue, in the Concession of the Company LevasFlor in Block 18. It aimed to adjust volumetric models and determine the shape factor for commercial volume of *Brachystegia spiciformis* (Messassa) in the Concession of the Company LevasFlor. For data collection, the destructive and non-destructive method using convenience sampling was used. 55 trees with Minimum Cutting Diameter (40 cm) were selected. DAP was measured before felling and commercial height was measured after felling. The same trees were rigorously cubed by the Smalian method. Cubing consisted of dividing the logs into several 1m long sections in which the base diameters, top diameter and length of each section were measured to calculate the log volume. Of the 55 trees, 35 samples were randomly selected for adjustment and the remaining 20 samples for validation. Four models were fitted, of which two were single and two were double-entry, using the parameters of goodness-of-fit assessment: the Akaike Information Criterion, Bayesian Information Criterion, estimation error and graphical analysis of the residuals, and in the end it was validated the model that showed the best results based on the X^2 test. The results show that the commercial form factor was 0.84. The Takata model $(DAP^2 * Hc) / (5236.9 + 185.2 * DAP)$ and Shummacher-Hall $(Vc = 0.0008921 * DAP + 1.3375950 * Hc + 1.0144084)$ had better statistics, which determined their selection for the estimation of commercial volume of Messassa. With absolute estimation error and acceptable percentage (0.2261659 and 14.51462%) and (0.2267705 and 14.55341%), lower values of information criteria AIC and BIC (-1.864772 and 2.801272) and (0.3220816 and 6.543474), respectively. The graphic distribution of the residues showed a tendency to underestimate.

Keywords: Adjust; Models; Volume

I. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

Na África Austral, Moçambique é um dos poucos países que ainda detém considerável área de florestal nativa e outras formações lenhosas compostas por Miombo, Mécusse e Mopane (MITADER, 2018).

As florestas de Miombo são dominadas pelos géneros *Julbernardia* e *Brachystegia* abrangendo uma área de 2.7 milhões de km² em cerca de oito países da África Austral e Ocidental. Em Moçambique, este tipo de vegetação ocupa uma enorme área da região Centro e Norte correspondente a 20.682.838 ha (Ribeiro 2016 e MITADER, 2018), onde é usada principalmente para extrair lenha, produção de carvão, plantas medicinais, fonte de nutrientes, fertilizantes do solo através de incêndios, reciclagem das folhas e como fonte de alimentos para os animais domésticos (Ribeiro, 2016).

De acordo com MITADER (2018), a taxa anual de desmatamento está estimada em 267 029 ha, correspondente a 0.79% para o período de 2003-2013 e com tendência crescente.

As equações volumétricas são de extrema importância na tomada de decisão dos povoamentos florestais, pois várias equações matemáticas foram desenvolvidas para estimar o volume. Apesar de alguns modelos serem eficientes, nem sempre se ajustam as espécies e condições de interesse, sendo que, são recomendadas testar vários modelos volumétricos por meio de análises estatísticas para escolher o melhor modelo em cada espécie assim como para a região (Silva, 2008).

Com presente estudo pretende-se obter uma equação para estimar o volume e um factor de forma comercial para *Brachystegia spiciformis*, de modo a otimizar o aproveitamento dos recursos económicos e ecológicos e também servirá como ferramenta na tomada de decisão por parte dos gestores assim como para os exploradores.

1.2. PROBLEMA E JUSTIFICAÇÃO

Estimar o volume das árvores é, na maioria das vezes, a principal finalidade dos inventários florestais, principalmente em povoamentos destinadas para fins comerciais (Oliveira, 2010) e é uma das mais importantes variáveis a ser apreciada (Ronaldo Drescher, 2001).

Seria muito desejável que os fustes das árvores possuíssem forma cilíndrica, pois isso facilitaria na obtenção do volume, entretanto existem varias técnicas indirectas, mas para que estas técnicas possam ser desenvolvidas é preciso que se obtenha uma base de dados com árvores representativas, que devem ser amostradas com o máximo rigor (Soares *et. al.*, 2011).

Dentre os métodos indirectos para se estimar o volume o uso de factor de forma e equações volumétricas é que mais se destacam. As equações volumétricas são opções para a determinação de volume por apresentar resultados satisfatórios em relação a resíduos e na maioria dos casos, com cálculos relativamente fáceis de serem realizados em comparação com outras metodologias (Martins, Carvalho, Schmidt, & Costa, 2016).

O custo de obtenção das variáveis para o cálculo de volume em florestas nativas é alto, mas pode ser reduzido com o uso de modelos matemáticos que permitem estima-la, medindo variáveis de mais simples obtenção como o DAP, que dependem de dados de cubagem para serem geradas deste modo tendo estimativas aproximadas as de cubagem (Correia, 2017 & Murta-Júnior, 2013).

Em Moçambique ainda não há estudo publicado de equações de volume ajustado para *Brachystegia spiciformis* e o método mais difundido para a estimativa do volume comercial de madeira em pé é aquele que utiliza o volume do cilindro multiplicado por um factor de forma médio. Por essa razão, a concessão florestal da LevasFlor ainda calcula o volume de madeira em pé usando o factor de forma comercial (0.8), e não considera as diferenças entre as espécies e a região, e as estimativas de volumes podem não estar a reflectir os estoques de volumes reais.

A obtenção de uma equação para estimar o volume da *Brachystegia spiciformis* e o factor de forma comercial servirá de ferramenta muito importante sob ponto de vista de manejo da espécie e na exploração de madeira. É também um instrumento muito importante na fiscalização e gestão, assim como no estabelecimento de cortes anuais admissíveis da madeira, visto que, é uma das espécies que tem sofrido muita pressão dentre muitas espécies madeireiras (Melo, Barreto, Oliveira, & Novaes, 2013).

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Geral

- Obter equação para estimar o volume e determinar factor de forma comercial de *Brachystegia spiciformis* (Messassa).

1.3.2. Específicos

- Ajustar modelo para estimar o volume comercial de *Brachystegia spiciformis* (Messassa);
- Validar o modelo que melhor se ajusta a espécie *Brachystegia spiciformis* (Messassa);
- Determinar o factor de forma comercial de *Brachystegia spiciformis* (Messassa).

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Recursos Florestais em Moçambique

Moçambique possui uma área de cerca de 799.380 Km², mais de 50%, ou seja, pouco mais de 40 milhões de hectares é coberta por florestas naturais ou semi-naturais, florestas densas, florestas abertas, mangais e florestas abertas em áreas húmidas (Marzoli, 2007). Predomina a floresta de miombo que cobre cerca de 2/3 da superfície e que tem uma área de 20.682.838 ha (MITADER, 2018).

A floresta de miombo é importante porque proporciona bens madeireiros, tais como madeira comercial, carvão e lenha, e não madeireiros, tais como frutos, pastagem e plantas medicinais (Soares, 2017).

2.2. Caracterização da Floresta de Miombo

Ecosistema Miombo provém de duas línguas faladas em África central e denota uma ou mais espécies do género *Brachystegia*, *Julbernardia* e *Isoberlina*, sendo as mais abundantes da região (Ribeiro *et. al.*, 2002), Em Moçambique, ele ocupa aproximadamente 2/3 da superfície total tendo uma estrutura e composição modificados pelo clima, solos e altitude distinguindo-se duma região para outra. Os solos do miombo na sua maioria apresentam textura franco-arenosa e a taxa de argila crescem substancialmente com o aumento da profundidade. As espécies mais predominantes são todas ectomicorrizais, esta característica é crucial pois elas podem aproveitar a matéria orgânica directamente do húmus compensando a baixa fertilidade dos solos do miombo (Ribeiro *et. al.*, 2002).

Segundo MITADER (2018), o corte anual admissível é o volume em pé que pode ser explorado anualmente sem comprometer a sustentabilidade dos recursos florestais.

A floresta de Miombo em termos de volume conta com 84.98 m³/ha e em termos de volume comercial, 90% provém da floresta do Miombo e a Província de Sofala conta com 20,93 m³/ha de volume comercial disponível (MITADER, 2018).

Brachystegia spiciformis é uma espécie da segunda classe comercial que conta com 35,85% com maior participação de volume comercial na floresta de Miombo. No geral, estimou-se o CAA com 1 902 599 m³/ano e a floresta de Miombo com uma participação de mais de 80% do CAA

correspondentes a 1 549 772 m³/ano. Na floresta de Miombo para segunda classe comercial conta com um CAA de 1 002 293 m³/ano, para a espécie de *Brachystegia spiciformis* conta com 382 591 e esta espécie para a Província de Sofala conta com 116 918 m³/ano (MITADER, 2018).

2.3. Distribuição geográfica

Brachystegia spiciformis é distribuído a partir do sul e leste da República Democrática de Congo, Quênia, Tanzânia e Angola para o sul Zimbabwe, Moçambique e África do Sul (Oyen & Louppe, 2012). Em Moçambique ocorre em quase todas as províncias madeireiras principalmente nas províncias de Sofala, Zambézia, Tete, Nampula, Manica, Gaza, Inhambane, Cabo delgado e Niassa (Bunster, 2006; MITADER, 2018).

2.4. Uso de *Brachystegia spiciformis* (Messassa)

É usada para construção, porta, quadros, canoas, móveis baratos, usada para travessa (com prévio tratamento preservativo), utensílios e colmeias. É apropriado para o revestimento, obra de carpintaria, revestimento interior, caixas, recipientes para alimentos, folheado, contraplacado e polpa. Como fonte de lenha e carvão em toda África austral. A casca é usada para fazer colmeias, a casca interna para fazer corda para laços de telhado. Usado na medicina tradicional como curativo sendo que a casca é mastigada como tratamento de picadas de cobra. Usado para dar a cor avermelhada ao produto acabado. A árvore é uma fonte de néctar para as abelhas e as folhas são usadas como forragem. Suas coroas fornecem sombra fina (Bunstar, 2006).

2.5. Descrição da espécie em estudo

A tabela 1 ilustra a descrição da espécie *Brachystegia spiciformis* conforme se segue abaixo.

Tabela 1: Nomenclatura e descrição de *Brachystegia spiciformis* (Messassa)

Classificação	Nomenclatura e Descrição
Nomes vernaculares	Murroto (Zambézia); Mutupuro/Miroto (Cabo Delgado); Tsonzdo (Inhambane)
Nome comercial	Messassa
Família	Leguminosae/ Caesalpinoideae
Nome científico	<i>Brachystegia spiciformis</i>
Forma da	Árvore de porte variável 6-15; 10-20m, copa aberta, aproximadamente

árvore	hemisférica, às vezes um pouco plana; tronco alto e subcilíndrico, um pouco tortuoso na parte superior; ritidoma cinzento claro ou bastante escuro, rugoso tendendo para escamoso.
Habitat e ecologia	Floresta aberta, constituindo quase sempre a dominante; solos argilo-arenosos.
Folha	Folhas caducas, compostas, com 2 a 7 pares de folíolos opostos, variando de forma, tamanho e pubescência, no geral brilhantes, de coloração variando de amarelo esverdeado a verde mais ou menos intenso conforme a idade.
Flores	Flores pequenas dispostas em cacho simples ou de 2 ramos.
Vagem	Vagem oblonga de tamanho variável, não muito grande, coreácea, de cor castanha muito escura ou preta, glabra, brilhante, um pouco pendente, com 5 a 6 sementes.
Madeira	Cerne castanho de tom variável desde o castanho-claro-amarelo até suavemente avermelhado ou escuro. Apresenta manchas irregulares em faixas largas ou finas orientadas longitudinalmente. Mediamente brilhante. Grã reversa e textura média a grosseira. Borne castanho esbranquiçado tendendo por vezes para amarelado; cerne castanho claro ou bastante intenso, por vezes encarniçado com manchas e listas de tom variável; dura; muito susceptível ao ataque de xilófagos e fungos; Dens=0,788 a 0,816.
Diâmetro Mínimo de Corte (DMC)	40 cm

Fonte: (Bunstar, 2006)

2.6. Volumetria

Maioria das vezes a principal finalidade dos levantamentos florestais é estimar o volume, mas quando se trata de povoamentos destinados para fins comerciais. A medição de todas as árvores com a finalidade de conhecer seus volumes é uma tarefa impraticável, desta forma, ela é inventariada por amostragem, quanto mais representativa da floresta for à amostra, melhores serão as estimativas obtidas (Siqueira, Tomasell, Detespinaße, Rodrigues, & Gornlskl, 2009).

Existem vários métodos de determinação de volume como: xilómetro, pesagem, cubagem rigorosa de árvores (Smallian, Huber e Newton). O método geométrico e de cubagem são os mais usados comercialmente devido a sua aplicabilidade (Cunha, 2004).

2.6.1. Xilometria

O método xilométrico baseia-se em mergulhar toros de árvores derrubadas em um recipiente com água e medir o volume de água deslocado. É o método mais preciso para medição do

volume de toros, sendo baseado no princípio de Arquimedes, mas não é muito empregado na prática por possuir custo de instalação do equipamento elevado e dificuldades no manuseio de grandes peças de madeira, apesar de fornecer resultados bastante precisos é muito trabalhoso (Lima G. C., 2015).

2.6.2. Cubagem rigorosa

É um método directo para estimar o volume de árvores e fornece resultados mais seguros, porém é uma técnica trabalhosa e onerosa. Baseado na medição sucessiva de diâmetro ao longo do fuste de árvores com secções de comprimento igual ou não, é o método mais utilizado na colecta de dados para o ajuste de modelos volumétricos, sendo que no cálculo do volume real são utilizadas fórmulas geométricas (Lima G. C., 2015).

2.6.3. Fórmula de Huber

Conhecida como fórmula da secção intermediária, o volume é conseguido pelo produto da área da secção intermediária Dm pelo comprimento do toro, sendo que para o volume total deve-se adicionar o volume do cone do toro final, caso exista (Cunha, 2004). E expressa por:

$$V = \frac{\pi}{4} * Dm * L \quad \text{Fórmula [1]}$$

Onde: V = volume da secção (m^3); Dm = diâmetro médio; L = comprimento.

2.6.4. Fórmula de Smalian

Conhecida como fórmula média das secções onde o volume é obtido pelo produto da média das áreas seccionais (g_1 e g_2) dos extremos pelo comprimento do toro (Cunha, 2004). É expressa por:

$$V = \frac{\pi/4 * (d_1^2 + d_2^2)}{2} * L \quad \text{Fórmula [2]}$$

Onde: V = volume da secção (m^3); $\pi = 3.141592654$; $d_1^2 + d_2^2$ = Diâmetros médios das secções; L = comprimento.

2.6.5. Fórmula de Newton

Segundo Cunha (2004), essa fórmula oferece resultados exactos quando os valores de r são: 0, $\frac{1}{2}$, 1 e $\frac{3}{2}$, para qualquer outro valor os resultados são aproximados, apesar disso, os cálculos são um pouco demorados bem como exige um número maior de medição dos diâmetros ou circunferências. A expressão matemática é dada por:

$$V = \frac{g_1 + 4g_m + g_2}{6} \times L$$

Fórmula [3]

Onde: V= volume da secção (m³); g₁= área transversal na base da secção; g_m = área transversal médio; g₂= área transversal no topo da secção i; L=comprimento do toro.

2.7. Modelos volumétricos

Abaixo ilustra modelos de regressão de simples e de dupla entrada para o cálculo de volume, apresentados nas tabelas 2 e 3 respectivamente.

Tabela 2: Modelos de simples entrada para o volume

Nº	Modelos de simples entrada	Autor
1	$V_i = \beta_1 * DAP + \beta_2 * DAP^2 + \epsilon$	Dissescu – Meyer
2	$V_i = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * DAP^2 + \epsilon$	Hohenadl – Krenm
3	$V_i = \beta_0 * DAP^{\beta_1} + \epsilon$	Berkhout
4	$\ln(V_i) = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP) + \ln(\epsilon)$	Husch
5	$\ln(V_i) = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP) + \beta_2 (1/DAP) + \ln(\epsilon)$	Brenac
6	$V_c = \beta_0 * (DAP^2 * H_c)^{\beta_1} + \epsilon$	Spurr

Onde: V_i é o volume da i-ésima árvore em m³; DAP é o diâmetro da i-ésima árvore a 1,3 metros do solo cm; β₀ a β₂ são parâmetros do modelo a ser estimado; e ε é o erro aleatório.

Fonte: (Diogo Guido Streck Vendruscolo, 2014) & (Scolforo, 2005).

Tabela 3: Modelos de dupla entrada para o volume

Nº	Modelos de dupla entrada	Autor
1	$V_i = \beta_0 + \beta_1 * DAP^2 * H + \epsilon$	Spurr
2	$V_i = \beta_0 * DAP^{\beta_1} * H^{\beta_2} + \epsilon$	Schumacher e Hall
3	$V_i = DAP^2 / (\beta_0 + \beta_1 (1/H)) + \epsilon$	Honner
4	$V_i = DAP^2 (\beta_0 + \beta_1 * H) + \epsilon$	Ogaya
5	$V_i = \beta_0 + \beta_1 * DAP^2 + \beta_2 * DAP^2 * H + \beta_3 * H + \epsilon$	Stoate (australiana)
6	$V_i = \beta_1 * DAP^2 + \beta_2 * DAP^2 + \beta_3 * H^2 + \beta_4 * H^2 + \epsilon$	Naslund
7	$V_i = (DAP^2 * H) / (\beta_0 + \beta_1 * DAP) + \epsilon$	Takata
8	$\ln(V_i) = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP^2 * H) + \ln(\epsilon)$	Spurr (logaritmica)
9	$V_i = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * DAP^2 + \beta_3 * DAP * H + \beta_4 * DAP^2 * H + \beta_5 * H + \epsilon$	Meyer

Onde: V_i é o volume da i-ésima árvore em m³; DAP é o diâmetro da i-ésima árvore a 1,3 metros do solo em cm; H é a altura da i-ésima árvore em metros; β₀, β₁, β₂, β₃, β₄ são coeficientes dos modelos e ε é o erro aleatório associado ao modelo (Miguel E. P., Leal, Ono, & Leal, 2014) & (Campos; Leite 2013).

2.8. Modelos de regressão

Existem modelos de regressão linear e não linear. No presente estudo importa abordar somente os modelos de regressão não linear pois estes são chaves para a realização do mesmo.

2.8.1. Modelo de Regressão não linear

É quando pelo menos uma das derivadas parciais da função não linear em relação aos parâmetros depende de pelo menos um dos parâmetros do modelo, ou seja, quando ele é não linear nos parâmetros (Mattos, 2013).

2.8.2. Avaliação da qualidade de ajuste

Para a selecção dos modelos são considerados, o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), o erro padrão da estimativa em percentagem ($Syx\%$), conforme descrito por Thomas *et al*, 2006; Informação de Akaike (AIC), Informação de Baysiano (BIC), Índice de Furnival (IF) e a análise gráfica dos resíduos. A análise gráfica é realizada apenas para os quatro melhores modelos. Quanto mais próximo de zero, melhor é o desempenho do modelo (Veloso, 2013).

2.8.3. Critério de informação de Akaike

Informação de Kullback-Leibler é utilizada para quantificar a perda de informação. Para seleccionar modelos, estabelecendo uma relação entre a máxima verosimilhança e esta informação. O modelo com menor valor do AIC, entre todos os modelos ajustados, pode ser considerado como o que melhor explica os dados (Veloso, 2013).

$$AIC = -2 \ln(L_p) + 2p \quad \text{Fórmula [4]}$$

Onde: L_p é o valor que torna máximo a função de máxima verosimilhança do modelo estimado e p e o número de parâmetros do modelo.

2.8.4. Critério de informação de Bayesiano (BIC)

Esse critério maximiza a probabilidade de identificar se o modelo verdadeiro dentre os avaliados, quanto menor for seu valor, melhor é o ajuste (Veloso, 2013).

$$BIC = -2 \ln(L_p) + Kp \quad \text{Fórmula [5]}$$

Para $K = \ln(n)$

Sendo n o número de observações e K e o número de parâmetros por ajustar.

2.8.5. Erro padrão da estimativa (Syx)

Na escala da variável dependente é em percentagem (Syx), sendo que, mais próximo de zero, mais preciso, pois o valor indica o quão próximo os valores estimados estão dos observados (Miguel, 2009). E é obtido por meio das seguintes fórmulas:

$$Syx = \sqrt{\frac{(Y_i - Y_e)^2}{n - p}} \quad Syx\% = \frac{Syx}{Y_m} * 100$$

Fórmula [6]

Onde: Syx = erro padrão da estimativa; yx% = erro da estimativa em percentagem; Yi= altura observada; Ye= altura estimada; Ym= altura media observada; n= número de observações; p= número de coeficientes do modelo matemático.

2.8.6. Coeficiente de determinação ajustado (R²aj)

O coeficiente de determinação (R²) expressa a quantidade de variação da variável dependente que explicada pelas variáveis independentes. Quanto mais próximo for o valor de (R²) em relação a unidade, melhor terá sido o ajuste, mas o problema quanto a utilização do R² e que ele não leva em consideração o número de variáveis utilizadas no modelo. Porém, é necessário reajustar esses coeficientes, para que seja possível comparar as equações, já que os graus de liberdade da regressão diferem entre os modelos testados. Este reajuste ou correlação tem sido referido como índice de Schalaegel (Miguel, 2009). Sua expressão matemática é:

$$R^2_{aj} = 1 - \left| \frac{n-1}{n-p-1} \right| \cdot \frac{SQ_{res}}{SQ_{tot}} \quad \text{Formula [7]}$$

Onde: R²aj= coeficiente de determinação ajustado; n= número de dados (tamanho da amostra); p= número de variáveis independentes do modelo em questão; SQres= soma de quadrado do resíduo; SQtot= soma de quadrado total (Miguel, 2009).

2.8.7. Análise gráfica dos resíduos (%)

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 há ou não tendenciosidade na estimativa da variável dependente ao longo de toda linha de regressão, verificar se os resíduos são independentes, e se há homogeneidade de variância. Como a avaliação gráfica é visual, pode envolver alguma subjetividade, por isso é usada em conjunto com outros parâmetros (Miguel, 2009).

Os resíduos são definidos como a diferença entre o valor real e o valor obtido no ajuste. Para a obtenção desse gráfico, plota-se os resíduos (eixo das ordenadas) contra os valores ajustados do modelo de regressão (eixo das abscissas) (Siqueira, Tomasell, Detespinasse, Rodrigues, & Gornlskl, 2009). É expressada pela seguinte forma:

$$\text{Res (\%)} = \frac{V_{est} - V_{obs}}{V_{obs}} * 100 \quad \text{Fórmula [8]}$$

Sendo: Res (%) - resíduo percentual; Vest- valor estimado; Vobs- valor observado.

2.9. Factor de forma

É definido como sendo um factor de redução do volume do cilindro para o volume real da árvore (Ronaldo Drescher, 2001).

Contudo, pode ser calculado com e sem casca, sendo apropriada sua utilização por espécie, pois como visto há variações nas formas do fuste por espécie, além da idade e localidade, porém, quando os volumes forem estimados por meio de único factor de forma, nesse caso para todas as espécies, pode acarretar em estimativas tendenciosas, pois o factor de forma pode variar de espécie para espécie e de um local para o outro (Gimenez, 2013).

O factor de forma torna-se ferramenta de grande valia para a obtenção de estimativas rápidas da variável volume, entretanto sua precisão é baixa em relação a uso das equações de volume, sendo necessário ter ponderações e cuidados quanto ao seu uso (Eder Pereira Miguel L. F., 2010).

III. METODOLOGIA

3.1. Descrição da área em estudo

A Concessão da Empresa LevasFlor encontra-se nos postos administrativos de Muanza e Cheringoma, localizada na província de Sofala. Na figura 1 mostra o mapa onde foram colectados dados concretamente no bloco 18 que tem uma superfície de cerca de 3.418 ha, limitada a Norte pelo bloco 19 e a Sul pelo bloco 8 (Cháuque, 2020).

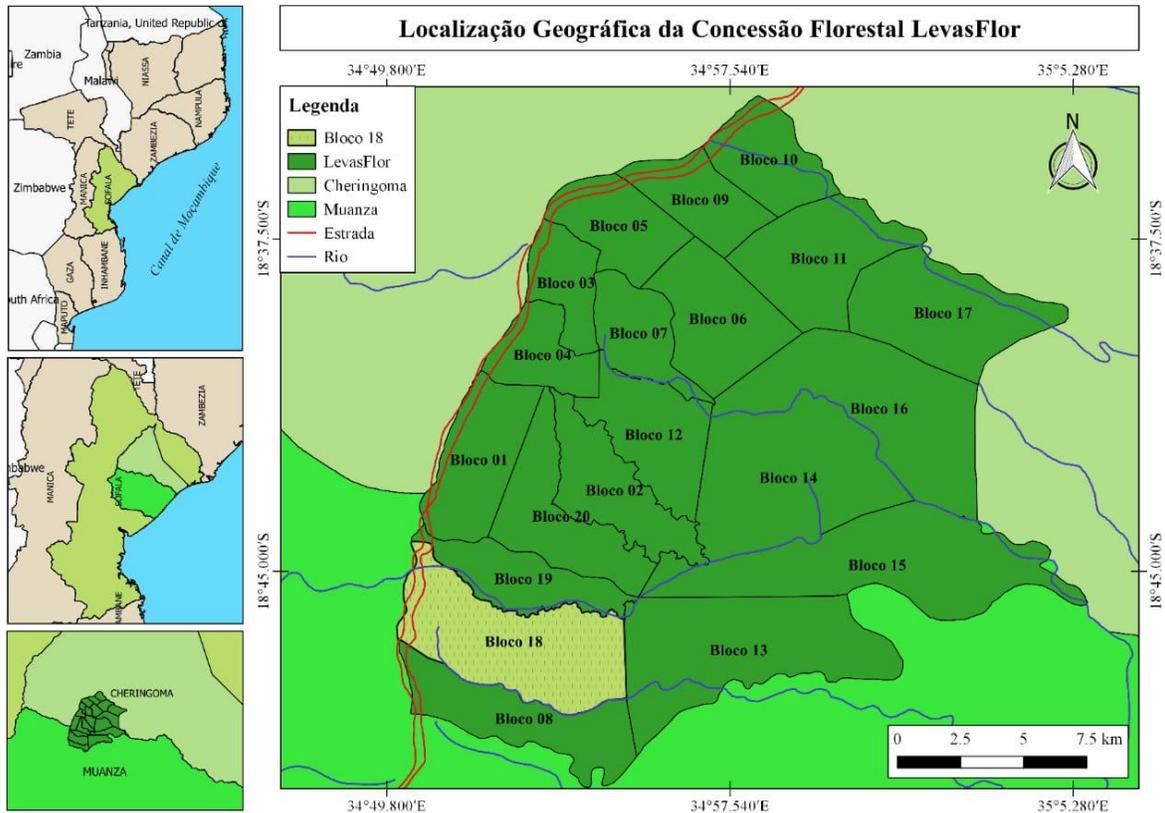


Figura 1: Mapa de localização geográfica da área estudo

3.2. Clima

O distrito de Muanza é influenciado pelo clima de tipo tropical chuvoso de savana onde as precipitações medias anuais são acima dos 800mm, chegando na maioria dos casos a 1.200 ou mesmo 1.400 mm, concentrando-se no período compreendido entre Novembro de um ano e finais de Março podendo localmente estender-se até Maio. E para o distrito de Cheringoma é do tipo tropical chuvoso de savana, regista-se valores médios anuais na ordem dos 1.000 e 1.100mm de chuva, e na região a norte de Inhamitanga e de transição para o vale do Zambeze, a média anual varia entre os 1.100 a 1.200 mm (MAE, 2005).

3.3. Vegetação

A floresta da concessão da empresa LevasFlor tem cerca de 46,240 ha dividida em 20 blocos de exploração. É uma floresta nativa de miombo, semi-decíduas e com espécies nativas, sendo que *Brachystegia spiciformis* e *Julbernadia globiflora* são as espécies mais predominantes. As espécies mais comuns encontradas são: *Spirostachys Africana*, *Breonardia microcephala*, *Sclerocarya birrea*, *Pterocarpus angolensis*, *Burkia africana*, *Guettarda speciosa*, *Xeroderris stuhlmannii*, *Afizelia quanzensis*, *Millettia stuhlmannii*, *Acacia nigrescens*, *Khaya nyasica*, *Ambligonocarpus andogenis*, *Guibourtia conjugata*, *Cleistanthus schlechteri*, *strichnos potatorum*, *Pseudopersama mossambicensis*, *Breonardia microcephala*, *Swartzia madagascariensis*, *Erythrophoeum suavegens*, e muitas outras (Cháuque, 2020).

3.4. Fauna

A concessão é relativamente muito rica em espécies faunísticas, constatou-se a ocorrência de Cabritos do mato, Macacos (Cercopithecidae), Porco selvagem, Porco-espinho (*Hystrix africae australis*), Ratazanas, Jibóias (Boidae), Mambas (Elapidae), Cágados (Pelomedusidae), Leões (*Phantera leo*), Pala-palas (*Hippotragus niger*), Chango (*Redunca arundinum*), facoceros (*Phacochoerus aethiopicus*), Imbabala (*Tragelaphus scriptus*), Impala (*Aepycerus melampus*), Inhala (*Tragelaphus angasi*), Manguço diversos (Herpestidae), ratos (Muridae) e Aves diversas (alguns Periquitos, Beija-flores (*Nectarinia manoensis*), Galinhas de mato (*Numida meleagris*), Rolas (Columbidae), Aves de rapina, entre outros) (Cháuque, 2020).

3.5. Vias de acesso

De acordo com Cháuque (2020) a área da concessão está ligada a estrada EN 213 entre Caia e Dondo (estrada de terra batida com relativamente bom acesso no período seco), apresenta vias secundárias que são também utilizadas como quebra-fogos (aceiros), estas mesmas estradas estão sendo utilizadas pelas comunidades locais.

3.6. Materiais e Métodos

3.6.1. Materiais

Na tabela (4) estão listados os materiais usados no presente estudo.

Tabela 4: Material usado

Material	Função
Motosserra	Abater árvores
Suta	Medir diâmetro a altura do peito e diâmetros ao longo do fuste
Fita-métrica	Medir o comprimento do toro
Ficha de campo	Anotar as informações que foram obtidas no campo;

3.6.2. Métodos

3.6.2.1. Colecta de dados

Para o estudo foram selecionadas aleatoriamente 55 árvores tendo como base diâmetro mínimo de corte (40cm), onde foi usada a amostragem por conveniência. De acordo com o inventário, a espécie de Messassa conta com cerca de 9.766,47 m³ de volume possivelmente explorável no bloco 18.

3.6.2.2. Medição dos parâmetros quantitativos (DAP e HC)

Segundo a metodologia usada por Miguel (2012), para as árvores em pé mediu-se o DAP tomado a 1.30 m em relação a superfície, usando as normas de medição do diâmetro (ver Anexo 1) e após o abate mediu-se a altura comercial com auxílio da fita-métrica. As mesmas árvores foram cubadas rigorosamente pelo método de Smalian. Esta consistiu na divisão dos toros em várias secções nos quais foram medidos os diâmetros da base, diâmetro do topo e comprimento de cada secção marcadas com serradura onde foram medidos ao longo do fuste na posição de 1m em 1m até a última secção dependendo do comprimento da mesma, para poder ser calculado o volume total de cada toro. A figura (2) ilustra os procedimentos empregues no campo:



Figura 2: Procedimentos empregados no campo na colecta de dados

A- abate B- medição de comprimento C- marcação dos toros D- medição do diâmetro

2.6.2.3. Distribuição de classe diamétrica das árvores

O intervalo de classe foi de acordo com o diâmetro mínimo encontrado nas parcelas. De seguida, fez-se a organização dos dados em intervalo classe como mostra na tabela 5. As classes de diâmetro adoptadas têm como DAP mínimo 40 cm.

Tabela 5: Número de árvores cubadas em diferentes classes de diâmetro

Classe	Intervalo de Classe	Número de árvores selecionadas
1	[40-45[5
2	[46-50[11
3	[51-55[12
4	[56-60[11
5	[61-70[14
Total		55

IV. ANÁLISE DE DADOS

4.1. Processamento de dados

4.1.1. Determinação do volume comercial

Os dados foram pré-processados com auxílio da planilha Microsoft Excel 2010, onde determinou-se os volumes individuais das árvores em pé e volumes individuais dos toros e posterior das árvores individuais (Cunha, 2004).

O volume real da árvore foi obtido através dos somatórios dos volumes seccionais pela seguinte fórmula:

$$V_c = \sum v_i$$

$$V_i = \frac{\pi * (DAP)^2 * H_c}{4}$$

Formula [9]

Onde: V_c = volume comercial da árvore; v_i = volume de n secção.

4.1.2. Ajuste de modelos

Ajustou-se modelos não lineares (NONLINEAR MODEL) de simples e dupla entrada seleccionada na literatura de acordo com a eficiência e efectuou-se a análise de regressão. Das 55 árvores abatidas, 35 árvores (64%) da amostra para o ajuste e os restantes 20 árvores (36%) das amostras foram utilizadas para a validação do melhor modelo. Serviram como dados de entrada DAP e H_c como variáveis independentes e volume como variável dependente.

Na tabela (6) estão apresentados os quatro (4) modelos não lineares ajustados, dentre estes, dois de simples entrada e dois de dupla entrada respectivamente.

Tabela 6: Modelos ajustados

Ordem	Modelos	Autores
1	$V_c = \beta_0 * (DAP^2 * H_c)^{\beta_1} + \varepsilon$	Spurr (1952)
2	$V_c = \beta_0 * DAP^{\beta_1} + \varepsilon$	Berkhout (1963)
3	$V_c = \beta_0 * DAP^{\beta_1} * H_c^{\beta_2} + \varepsilon$	Schumacher-Hall (1933)
4	$V_c = (DAP^2 * H_c) / (\beta_0 + \beta_1 * DAP) + \varepsilon$	Takata (1958)

Onde: V_i -volume; DAP-diâmetro a altura do peito; H_c -altura comercial; β_0 - e um parâmetro comum; e β_1 e β_2 - parâmetros específicos; ε - erro aleatório.

4.1.3. Avaliação da qualidade de ajuste dos modelos

Os modelos ajustados foram seleccionados por meio dos seguintes critérios: erro padrão de estimativa, critérios de informação de AKAIKE, critério de informação BAYESIANO e análise gráfica dos resíduos.

4.1.4. Critério de Informação de Akaike (AIC) e Bayesiana (BIC)

Considerou-se os melhores modelos, aqueles que apresentou menor valor AIC e BIC, ou seja, menor sua discrepância geral estimada e, por consequência, menor sua distância relativa para os valores reais (Batista, 2014 & Oliveira, 2010). Usando as fórmulas 4 e 5.

4.1.5. Erro padrão de estimativa (Syx)

Foram seleccionados os modelos que tiveram um valor mais próximo de zero pois isso indica maior precisão e dita o quão próximo os valores estimados estão dos observados (Machado *et. al.*, 2002). Usando fórmula 6.

4.1.6. Distribuição gráfica dos resíduos

Para a distribuição gráfica aqueles que apresentarem maiores valores e menores valores de AIC, BIC e Syx%. Permite detectar se há ou não tendenciosidade na estimativa da variável dependente ao longo de toda linha de regressão, verificar se os resíduos são independentes, e se há homogeneidade de variância. Além disso, detecta as tendências resultantes do uso de modelo como subestimações ou superestimações (Machado *et. al.*, 2008).

4.1.7. Validação dos modelos seleccionados

Para a validação das equações seleccionadas para estimativa do volume comercial de Messassa fez-se o teste de Qui-Quadrado. Seleccionou-se aleatoriamente 20 árvores que não foram incluídas no processo de ajuste das equações. Usou-se o teste de Teste de Qui-quadrado (X^2) para a validação dos modelos seleccionados, com intuito de comparar possíveis divergências entres os volumes observado e esperado (Higuchi, *et.al.*, 2008). usando fórmula 8.

4.2. Factor de forma

Para a determinação do factor de forma comercial calculou-se o volume do cilindro individual de árvore em pé e volume individual abatido usando a cubagem rigorosa de Smalian, de seguida calculou-se a relação matemática entre os volumes (Drescher *et. al.*, 2001). Sua expressão matemática é definida pela fórmula 9:

$$f = \frac{Vr}{Vc}$$

Onde: Vr – é o volume real = $\frac{\pi/4 \times (d_1^2 + d_2^2)}{2} \times L$; Vc – é o volume do cilindro = $\pi \times DAP^2/4 \times Hc$ (m³); e f é o factor de forma calculado.

Por meio de cubagem rigorosa realizada nas árvores amostradas, foi possível determinar o factor de forma. Primeiro consistiu em calcular o factor de forma médio para cada intervalo de classe e depois calcular o factor de forma médio para todas as classes diamétricas e no total foram 5 classes correspondentes a 25 árvores amostradas.

V. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Análise descritiva dos dados

A tabela (7) mostra os resultados da estatística descritiva das variáveis usados no ajuste dos modelos testados com base nas medidas de tendência central, medidas de dispersão para as variáveis diâmetro altura do peito, altura comercial e o volume das árvores-amostra.

Tabela 7: Estatística descritiva de DAP, Altura Comercial e Volume

Vareáveis	Media	Desv.pad	Cv (%)	Min	Max
DAP (cm)	54,1143	7,1405	13,1952	44	68
Hc (m)	8,1229	1,4775	18,1894	5.6	11.9
Vol (m ³)	1,5582	0,4470	28,6872	0.7492	2.9504

Onde: Desv.pad-desvio padrão, CV (%) - coeficiente de variação, **mim**- mínimo e **max**- máximo.

Os resultados apresentados na tabela acima, mostra que o volume médio foi de 1,559 m³ com desvio padrão de 0,447m³. A variável altura (Hc) teve uma média de 8m, mínimo de 5,6m e máximo de 11,9m. De acordo com as análises estatísticas feitas observa-se que o DAP médio foi de 54,1143 cm e CV % (13,1952), variando de 44 a 68 indicando uma boa variação.

Diferente resultados obtidos por Monguela e Francisco (2019) num estudo sobre estimativa de biomassa e *stock* de carbono na floresta de mopane no posto administrativo de combomune – localidade de mavumbuque (16,4178 cm) e ajuste de modelos para estimativa de *Androstachys johnsonii* em Macuacua (26,83 cm) respectivamente. Estes estudos mostraram CV% para DAP elevado (54,9466) e (37,3265) respectivamente podem ser justificados pela heterogeneidade das classes diamétricas e diâmetros menores.

5.2. Ajuste de modelos

A tabela 10 apresenta os coeficientes dos modelos ajustados para os 4 modelos volumétricos ajustados e sua respectiva equação.

Tabela 8: Valores dos coeficientes estimados pelos modelos ajustados com as variáveis (DAP e Hc) e equações geradas

Equação	Coeficientes			Equação
	B_0	B_1	B_2	
1. Spurr	0.0006913	0.7659258*	-	$V_c=(0.000075*DAP^2*Hc)^{0.765900}$
2. Berkhout	0.007676	1.330349*	-	$V_c=0.007676*DAP^{1.330349}$
3. Schumacher-Hall	0.0008921	1.3375950*	1.0144084*	$V_c=0.0008921*DAP^{1.3375950}*Hc^{1.0144084}$
4. Takata	5236.9	185.2*	-	$V_c=(DAP^2*Hc)/(5236.9+185.2*DAP)$

V_c = volume (m^3); DAP= diâmetro a altura do peito (cm); Hc= altura comercial (m); B_0, B_1, B_2, B_3 = coeficientes dos modelos; * Coeficiente significativo a 95% de probabilidade.

O modelo de dupla entrada de Takata apresentou-se melhor, o que mostra que o valor tem efeito significativo na equação de volume.

5.3. Avaliação e selecção dos melhores modelos

Para a selecção do modelo que melhor se ajustou a espécie em estudo, foram analisados: o critério de AKAIKE, critério de BAYESIANO, erro-padrão da estimativa absoluta e percentual e a análise gráfica dos resíduos como estão representados na tabela 9.

Tabela 9: Estatísticas de ajuste e precisão dos modelos ajustados

Modelos	Autores	Avaliadores de ajuste			
		AIC	BIC	Syx	Syx (%)
Simples Entrada	1.Spur	2.956315	7.622359	0.2422915	15.54951
	2.Berkhout	31.39881	36.06485	0.3637486	23.34424
	3.Schumacher-Hall	0.3220816	6.543474	0.2267705	14.55341
Dupla Entrada	4. Takata	-1.864772*	2.801272*	0.2261659*	14.51462*

S_{xy} = erro da estimativa absoluta; S_{yx} (%)= erro da estimativa relativa. *- melhor desempenho

Na tabela 9 observa-se que os erros de estimativa estão dentro dos limites <15% com exceção do modelo de Berkhout. A equação de Spur, Schumacher-Hall e Takata apresentaram um valor inferior para o erro padrão da estimativa absoluta e percentual gerando valores iguais a 0.242 e 15.55% para o modelo de Spurr, 0.227 e 14.553% para o modelo de Schumacher-Hall e 0.226 e 14.515% para o modelo de Takata, sendo este último o modelo que mais minimizou o erro de estimativa.

O modelo de Berkhout teve maior valor em relação ao erro da estimativa o que significa que estão acima dos limites aceitáveis. É de notar que esta equação é de apenas uma variável independente, o que pode ser uma possível explicação para estas diferenças quando comparada com as de duas variáveis independentes.

Nos critérios de informação o modelo de Takata apresentou melhores resultados de AIC e BIC sendo o modelo que mais minimizou estes critérios com os valores iguais a AIC (-1.864772) e BIC (2.801272). Por outro lado, o modelo de Berkhout teve resultados baixos em relação ao AIC (31.39881) e BIC (36.06485). Para os avaliadores, segundo a tabela (9) acima os modelos que tiveram melhores estatísticas foram de Schumacher-Hall e Takata os mesmos indicados para estimar o volume de Messassa mas a equação de Takata ($V_c = (DAP^2 * H_c) / (5236.9 + 185.2 * DAP)$) teve melhores resultados para estimativa do volume de Messassa.

Segundo Higuchi (2008), as equações de simples e de dupla entrada ambas produzem bons ajustes.

De acordo com Miguel *et al.* (2014), ao ajustar modelos volumétricos não lineares para obtenção de volume comercial de *Eucalyptus urograndis* ele obteve melhores estatísticas no modelo de Takaka com um erro de 6.5% e valores de AIC e BIC baixos quando comparados com outros modelos testados. Por outra, um estudo realizado com objectivo de ajustar modelos volumétricos para *Corymbia citriodora*, o modelo de Takata foi a que teve melhor nível de precisão para um total de 35 árvores cubadas (Brenno Cunha Freitas, 2017).

Estudo realizado por Alexandre Francisco (2019), sobre ajuste de modelos para estimativa de volume de *Androstachys johnsonii* em Macuacua-distrito de Mandlakaze o modelo de Schumacher-Hall apresentou melhores resultados e um erro padrão de estimativa abaixo de 10%.

Dos estudos realizados por Siteo (2007); Ribeiro *et. al.* (2008); Francisco (2019); Falcão e Noa (2016) em Moçambique sobre equações de biomassa, estoque de carbono e estudos realizados em outros países sobre equações de volume e/ou Biomassa comenta-se muitos sobre a precisão do modelo de Schumacher.

5.4. Análise gráfica dos resíduos

A escolha da melhor equação seja de simples ou de dupla entrada, para estimar o volume de messassa, foi realizado com auxílio da distribuição gráfica dos resíduos em função do DAP e volume estimado, conforme mostra a figura 3 abaixo.

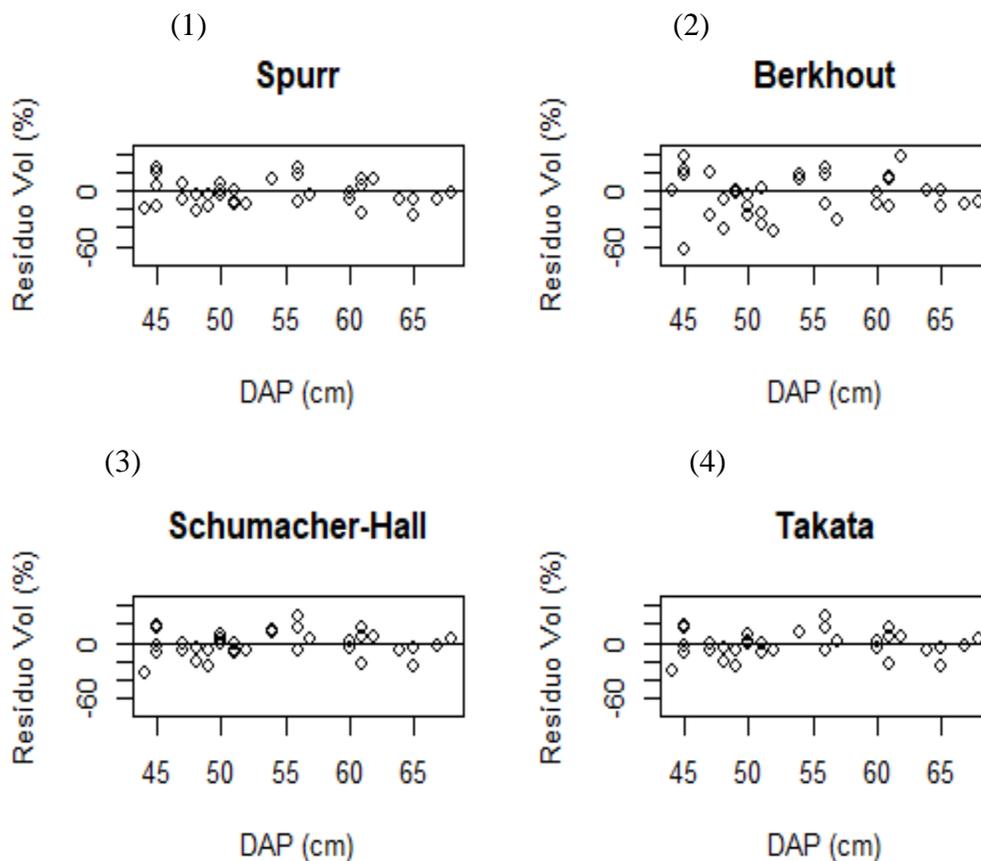


Figura 3: Gráficos de distribuição dos resíduos em função do DAP e da variável estimada para as quatro equações volumétricas de simples e de dupla entrada

Observando os gráficos de distribuição o modelo de Berkhout, nota-se que, este apresentou uma tendenciosidade ao longo da linha de estimativa para árvores com DAP entre 45 a 60 cm.

Os modelos de Spurr, Schumacher e Takata apresentaram uma boa distribuição dos resíduos. Já os modelos de Schumacher e Takata mostraram-se superiores ao modelo de Spurr. Ambas

podem ser utilizadas para estimar os volumes individuais das arvores de messassa na concessão da empresa LevasFlor, dada a semelhança nos resultados dos indicadores. Geralmente a equação de simples entrada tem sido inferior aos verificados com dupla entrada pela inclusão da variável altura no modelo de regressão, pois, aumenta a precisão da estimativa (Silva Carvalho, 1984).

5.5. Validação dos melhores modelos ajustados de dupla entrada

5.5.1. Hipóteses

H₀: O valor real do volume comercial não difere do valor do volume estimado pela equação selecionada.

H₁: O valor real do volume comercial difere do valor do volume estimado pela equação selecionada.

Na tabela 10 estão apresentados os resultados dos valores de X² calculado e X² crítico, usada uma probabilidade de 95% de nível de confiança.

Tabela 10: Resultados de validação das equações

Autor	Equação	X² calculado	X² critico
Schumacher-Hall	$V_c = 0.0008921 * DAP^{1.3375950} * H_c^{1.0144084}$	0,10601210*	10.117
Takata	$V_c = (DAP^2 * H_c) / (5236.9 + 185.2 * DAP)$	0,11112034*	10.117

(Não significativo)*; X² calculado < X² critico: Aceita-se Ho; X² calculado ≥ X² critico: rejeita-se Ho.

Conforme observado na tabela 10 mostra o teste estatístico dos modelos selecionados (Schumacher-Hall e Takata) ambas equações são de dupla entrada. De acordo com o teste de Qui-quadrado e a 95% de probabilidade a equação de Schumacher-Hall e Takata, não se rejeita a hipótese nula, isto é, não há diferenças estatisticamente significativas entre os valores do volume real e estimados pelas equações.

As equações de Schumacher-Hall e Takata foram validadas visto que o X² calculado é que menor X² crítico, contudo, pode-se estimar o volume comercial em pé de Messassa na Concessão LevasFlor no posto administrativo de Condue ou em locais com características idênticas (sítio,

espaçamento e idade). Ambas podem estimar o volume individual comercial de messassa e a utilização de uma ou outra fica a critério do usuário.

Na área florestal é muito usada a equação de Schumacher-Hall devido a precisão deste modelo. Existem muitos factores que condicionam a precisão de um modelo como as condições climáticas (tipo de solo e relevo), o crescimento e a forma da árvore. O modelo de Takata quando ajustado para a obtenção de volume em áreas florestais, uma possível explicação pode ser pelo fato de não ser linear, não possível de linearizar o que implica uma maior dificuldade de ajuste e por ter uma estrutura um pouco mais complexa (Leotch *et al.*, 1973 & Miguel *et al.*, 2014).

Após validada a equação foi necessário verificar os erros preditos da variável independente que foi estimada, analisando o comportamento dos resíduos ao longo da linha de regressão.

A Figura 4 está ilustrado os gráficos de erros em função de DAP e resíduos dos dados de validação que não foram usados para o ajuste dos modelos.

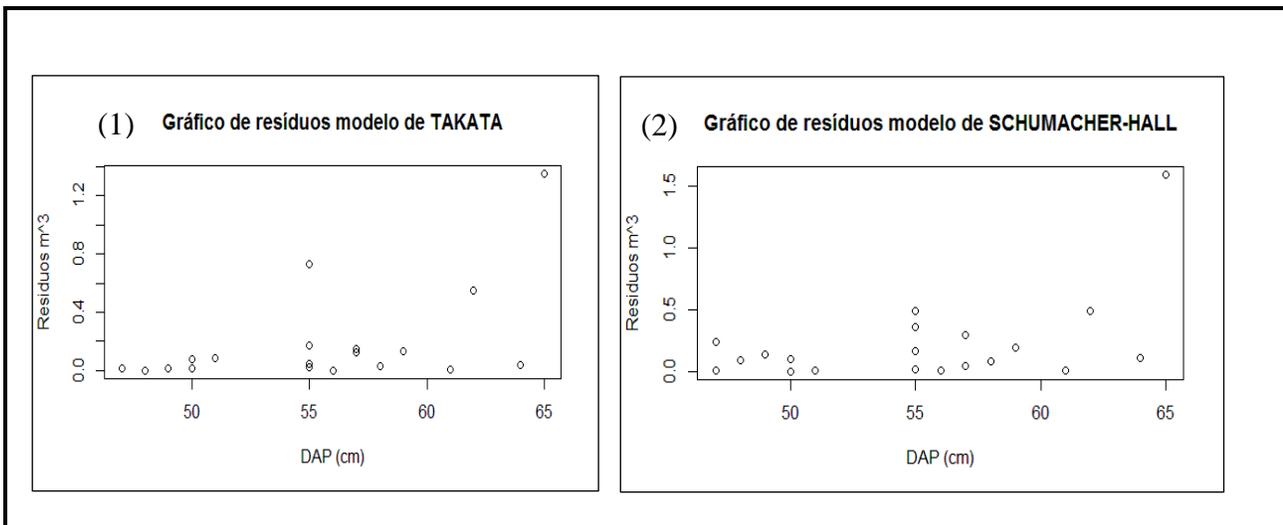


Figura 4:Gráfico de dispersão dos erros de predição das equações de Takata e Schumacher-Hall respectivamente

De acordo com os gráficos de resíduos 1 e 2 observou-se que as equações apresentaram uma distribuição semelhante entre si. Verifica-se em ambos gráficos que há um registo de tendenciosidade ao longo da linha de estimativa, onde os erros tendem a ocorrer quase da mesma proporção, verificando uma sobrestimativa acima dos 55 cm de DAP.

Resultado contrário foi encontrado por Alexandre Francisco (2019), ao validar a equação de Schumacher-Hall este mostrou-se a superestimar o volume quando o DAP está acima de 70 cm.

5.6. Tabela de volume de Messassa para concessão florestal da empresa LevasFlor

A tabela de volume e a relação numérica, na forma tabular, capaz de estimar o volume total ou parcial de uma árvore a partir de variáveis dendrométricas independentes e de fácil obtenção, como diâmetros e alturas (Finger, 1992).

Abaixo estão apresentadas as tabelas de volume (11 e 12) respectivamente usando as equações de Takaka e Schummacher-Hall geradas no presente estudo. Estas foram as que apresentaram bonsajustes para estimativa de volume de messassa.

Tabela 11: Tabela de volume comercial para espécie de Messassa para a Concessão LevasFlor usando a equação de Takata $V_c = (DAP^2 * H_c) / (5236.9 + 185.2 * DAP)$

DAP (cm)	Alturas (m)																
	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13
40	0,6327	0,6959	0,7592	0,8225	0,8857	0,9490	1,0123	1,0755	1,1388	1,2021	1,2653	1,3286	1,3919	1,4551	1,5184	1,5817	1,6449
41	0,6551	0,7206	0,7861	0,8516	0,9171	0,9827	1,0482	1,1137	1,1792	1,2447	1,3102	1,3757	1,4412	1,5067	1,5722	1,6378	1,7033
42	0,6777	0,7454	0,8132	0,8810	0,9487	1,0165	1,0843	1,1520	1,2198	1,2876	1,3553	1,4231	1,4909	1,5586	1,6264	1,6942	1,7619
43	0,7004	0,7704	0,8404	0,9105	0,9805	1,0505	1,1206	1,1906	1,2606	1,3307	1,4007	1,4707	1,5408	1,6108	1,6808	1,7509	1,8209
44	0,7232	0,7955	0,8678	0,9401	1,0124	1,0847	1,1571	1,2294	1,3017	1,3740	1,4463	1,5186	1,5910	1,6633	1,7356	1,8079	1,8802
45	0,7461	0,8207	0,8953	0,9699	1,0445	1,1191	1,1937	1,2683	1,3429	1,4176	1,4922	1,5668	1,6414	1,7160	1,7906	1,8652	1,9398
46	0,7691	0,8460	0,9229	0,9998	1,0768	1,1537	1,2306	1,3075	1,3844	1,4613	1,5382	1,6151	1,6920	1,7690	1,8459	1,9228	1,9997
47	0,7923	0,8715	0,9507	1,0299	1,1092	1,1884	1,2676	1,3468	1,4261	1,5053	1,5845	1,6637	1,7430	1,8222	1,9014	1,9806	2,0599
48	0,8155	0,8970	0,9786	1,0601	1,1417	1,2232	1,3048	1,3863	1,4679	1,5494	1,6310	1,7125	1,7941	1,8756	1,9572	2,0387	2,1203
49	0,8388	0,9227	1,0066	1,0905	1,1744	1,2582	1,3421	1,4260	1,5099	1,5938	1,6776	1,7615	1,8454	1,9293	2,0132	2,0971	2,1809
50	0,8623	0,9485	1,0347	1,1209	1,2072	1,2934	1,3796	1,4658	1,5521	1,6383	1,7245	1,8107	1,8970	1,9832	2,0694	2,1556	2,2419
51	0,8858	0,9743	1,0629	1,1515	1,2401	1,3287	1,4172	1,5058	1,5944	1,6830	1,7715	1,8601	1,9487	2,0373	2,1259	2,2144	2,3030
52	0,9094	1,0003	1,0913	1,1822	1,2731	1,3641	1,4550	1,5459	1,6369	1,7278	1,8188	1,9097	2,0006	2,0916	2,1825	2,2734	2,3644
53	0,9331	1,0264	1,1197	1,2130	1,3063	1,3996	1,4929	1,5862	1,6795	1,7728	1,8661	1,9594	2,0527	2,1461	2,2394	2,3327	2,4260
54	0,9568	1,0525	1,1482	1,2439	1,3396	1,4353	1,5309	1,6266	1,7223	1,8180	1,9137	2,0094	2,1050	2,2007	2,2964	2,3921	2,4878
55	0,9807	1,0788	1,1768	1,2749	1,3730	1,4710	1,5691	1,6672	1,7652	1,8633	1,9614	2,0594	2,1575	2,2556	2,3536	2,4517	2,5498
56	1,0046	1,1051	1,2055	1,3060	1,4064	1,5069	1,6074	1,7078	1,8083	1,9088	2,0092	2,1097	2,2101	2,3106	2,4111	2,5115	2,6120
57	1,0286	1,1315	1,2343	1,3372	1,4400	1,5429	1,6458	1,7486	1,8515	1,9543	2,0572	2,1601	2,2629	2,3658	2,4686	2,5715	2,6744
58	1,0527	1,1579	1,2632	1,3685	1,4737	1,5790	1,6843	1,7895	1,8948	2,0001	2,1053	2,2106	2,3159	2,4211	2,5264	2,6317	2,7369
59	1,0768	1,1845	1,2922	1,3998	1,5075	1,6152	1,7229	1,8306	1,9382	2,0459	2,1536	2,2613	2,3690	2,4766	2,5843	2,6920	2,7997
60	1,1010	1,2111	1,3212	1,4313	1,5414	1,6515	1,7616	1,8717	1,9818	2,0919	2,2020	2,3121	2,4222	2,5323	2,6424	2,7525	2,8626
61	1,1253	1,2378	1,3503	1,4628	1,5754	1,6879	1,8004	1,9129	2,0255	2,1380	2,2505	2,3630	2,4756	2,5881	2,7006	2,8131	2,9257
62	1,1496	1,2645	1,3795	1,4944	1,6094	1,7244	1,8393	1,9543	2,0692	2,1842	2,2991	2,4141	2,5291	2,6440	2,7590	2,8739	2,9889
63	1,1739	1,2913	1,4087	1,5261	1,6435	1,7609	1,8783	1,9957	2,1131	2,2305	2,3479	2,4653	2,5827	2,7001	2,8175	2,9349	3,0523
64	1,1984	1,3182	1,4381	1,5579	1,6777	1,7976	1,9174	2,0373	2,1571	2,2769	2,3968	2,5166	2,6364	2,7563	2,8761	2,9960	3,1158
65	1,2229	1,3452	1,4674	1,5897	1,7120	1,8343	1,9566	2,0789	2,2012	2,3235	2,4457	2,5680	2,6903	2,8126	2,9349	3,0572	3,1795
66	1,2474	1,3722	1,4969	1,6216	1,7464	1,8711	1,9959	2,1206	2,2453	2,3701	2,4948	2,6196	2,7443	2,8691	2,9938	3,1185	3,2433
67	1,2720	1,3992	1,5264	1,6536	1,7808	1,9080	2,0352	2,1624	2,2896	2,4168	2,5440	2,6712	2,7984	2,9256	3,0528	3,1800	3,3072
68	1,2967	1,4263	1,5560	1,6857	1,8153	1,9450	2,0746	2,2043	2,3340	2,4636	2,5933	2,7230	2,8526	2,9823	3,1120	3,2416	3,3713

Ajuste de modelos para estimativa de volume e determinação de factor de forma comercial de *Brachystegia spiciformis* na Concessão da empresa LevasFlor

A aplicabilidade da tabela elaborada neste estudo está restrita a áreas que apresentam as mesmas características florestais e ambientais da concessão LevasFlor lugar onde foram colectados os dados.

Ajuste de modelos para estimativa de volume e determinação de factor de forma comercial de *Brachystegia spiciformis* na Concessão da empresa LevasFlor

Tabela 12: Tabela de volume comercial para espécie de Messassa para a Concessão LevasFlor usando a equação de Schummacher-Hall ($V_c=0.0008921*DAPI.3375950*Hc1.0144084$)

DAP (cm)	Alturas (m)																
	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13
40	0,6344	0,6988	0,7633	0,8278	0,8925	0,9572	1,0219	1,0868	1,1516	1,2166	1,2815	1,3466	1,4116	1,4767	1,5419	1,6071	1,6723
41	0,6557	0,7223	0,7889	0,8556	0,9224	0,9893	1,0563	1,1232	1,1903	1,2574	1,3246	1,3918	1,4590	1,5263	1,5937	1,6610	1,7285
42	0,6772	0,7459	0,8148	0,8837	0,9527	1,0217	1,0909	1,1600	1,2293	1,2986	1,3680	1,4374	1,5068	1,5763	1,6459	1,7155	1,7851
43	0,6988	0,7698	0,8408	0,9119	0,9831	1,0544	1,1257	1,1971	1,2686	1,3401	1,4117	1,4833	1,5550	1,6267	1,6985	1,7703	1,8422
44	0,7207	0,7938	0,8671	0,9404	1,0138	1,0873	1,1609	1,2345	1,3082	1,3820	1,4558	1,5296	1,6036	1,6775	1,7515	1,8256	1,8997
45	0,7426	0,8180	0,8935	0,9691	1,0448	1,1205	1,1963	1,2722	1,3481	1,4241	1,5002	1,5763	1,6525	1,7287	1,8050	1,8813	1,9577
46	0,7648	0,8424	0,9202	0,9980	1,0759	1,1539	1,2320	1,3101	1,3884	1,4666	1,5450	1,6234	1,7018	1,7803	1,8588	1,9374	2,0161
47	0,7871	0,8670	0,9470	1,0271	1,1073	1,1876	1,2680	1,3484	1,4289	1,5094	1,5901	1,6707	1,7515	1,8322	1,9131	1,9940	2,0749
48	0,8096	0,8918	0,9741	1,0565	1,1390	1,2215	1,3042	1,3869	1,4697	1,5525	1,6355	1,7184	1,8015	1,8846	1,9677	2,0509	2,1342
49	0,8322	0,9167	1,0013	1,0860	1,1708	1,2557	1,3406	1,4257	1,5108	1,5960	1,6812	1,7665	1,8519	1,9373	2,0227	2,1083	2,1938
50	0,8550	0,9418	1,0288	1,1158	1,2029	1,2901	1,3774	1,4647	1,5522	1,6397	1,7273	1,8149	1,9026	1,9903	2,0782	2,1660	2,2539
51	0,8780	0,9671	1,0564	1,1457	1,2352	1,3247	1,4143	1,5040	1,5938	1,6837	1,7736	1,8636	1,9537	2,0438	2,1339	2,2242	2,3144
52	0,9011	0,9926	1,0842	1,1759	1,2677	1,3596	1,4516	1,5436	1,6358	1,7280	1,8203	1,9126	2,0051	2,0975	2,1901	2,2827	2,3753
53	0,9244	1,0182	1,1121	1,2062	1,3004	1,3947	1,4890	1,5835	1,6780	1,7726	1,8673	1,9620	2,0568	2,1517	2,2466	2,3416	2,4366
54	0,9478	1,0440	1,1403	1,2367	1,3333	1,4300	1,5267	1,6235	1,7205	1,8175	1,9145	2,0117	2,1089	2,2062	2,3035	2,4009	2,4983
55	0,9713	1,0699	1,1686	1,2675	1,3664	1,4655	1,5646	1,6639	1,7632	1,8626	1,9621	2,0617	2,1613	2,2610	2,3607	2,4605	2,5604
56	0,9950	1,0960	1,1971	1,2984	1,3998	1,5012	1,6028	1,7045	1,8062	1,9081	2,0100	2,1120	2,2140	2,3161	2,4183	2,5206	2,6229
57	1,0188	1,1223	1,2258	1,3295	1,4333	1,5372	1,6412	1,7453	1,8495	1,9538	2,0581	2,1625	2,2670	2,3716	2,4762	2,5809	2,6857
58	1,0428	1,1487	1,2547	1,3608	1,4670	1,5734	1,6798	1,7864	1,8930	1,9998	2,1066	2,2134	2,3204	2,4274	2,5345	2,6417	2,7489
59	1,0669	1,1752	1,2837	1,3923	1,5010	1,6098	1,7187	1,8277	1,9368	2,0460	2,1553	2,2646	2,3741	2,4836	2,5931	2,7028	2,8125
60	1,0912	1,2020	1,3129	1,4239	1,5351	1,6464	1,7578	1,8693	1,9808	2,0925	2,2043	2,3161	2,4280	2,5400	2,6521	2,7642	2,8764
61	1,1156	1,2288	1,3422	1,4558	1,5694	1,6832	1,7971	1,9111	2,0251	2,1393	2,2536	2,3679	2,4823	2,5968	2,7114	2,8260	2,9407
62	1,1401	1,2559	1,3717	1,4878	1,6039	1,7202	1,8366	1,9531	2,0697	2,1863	2,3031	2,4200	2,5369	2,6539	2,7710	2,8882	3,0054
63	1,1648	1,2830	1,4014	1,5199	1,6386	1,7574	1,8763	1,9953	2,1144	2,2336	2,3529	2,4723	2,5918	2,7113	2,8310	2,9506	3,0704
64	1,1896	1,3103	1,4312	1,5523	1,6735	1,7948	1,9163	2,0378	2,1594	2,2812	2,4030	2,5250	2,6470	2,7691	2,8912	3,0135	3,1358
65	1,2145	1,3378	1,4612	1,5848	1,7086	1,8324	1,9564	2,0805	2,2047	2,3290	2,4534	2,5779	2,7024	2,8271	2,9518	3,0766	3,2015
66	1,2396	1,3654	1,4914	1,6175	1,7438	1,8702	1,9968	2,1234	2,2502	2,3770	2,5040	2,6311	2,7582	2,8854	3,0127	3,1401	3,2675
67	1,2647	1,3931	1,5217	1,6504	1,7792	1,9082	2,0373	2,1666	2,2959	2,4253	2,5549	2,6845	2,8142	2,9440	3,0739	3,2039	3,3339
68	1,2901	1,4210	1,5521	1,6834	1,8149	1,9464	2,0781	2,2099	2,3419	2,4739	2,6060	2,7382	2,8706	3,0030	3,1354	3,2680	3,4006

Acima, ilustram as tabelas de volume comercial de Messassa usando a equação de Takata e Schummacher-hall 11 e 12 respectivamente, onde encontra-se destacado (ranking) mostram os diâmetros e alturas encontradas na Concessão LevasFlor no Bloco 18. Os diâmetros variam de 44-68 cm, alturas variam de 6-12 m e os volumes aumentam com o aumento dos diâmetros e altura. Com essa tabela pode-se usar no inventário florestal exclusivamente para Empresa da Concessão da LevasFlor ou locais com características similares.

Equações e parâmetros desenvolvidos para um certo grupo de espécie e sítio particular, podem gerar estimativas confiáveis em outros locais e para grupo de espécies diferentes, por isso há necessidade de testar e validar de caso para caso para que possam ser usadas em ecossistemas florestais e condições similares em outras partes do país (MITADER, 2016).

5.7. Factor de forma

Conforme observado na tabela 13 abaixo, foi estimado o factor de forma para espécie de messassa para obtenção do volume comercial e estão representados os resultados da estatística descritiva para o factor de forma comercial.

Tabela 13: Parâmetros das amostras usadas para determinar o factor de forma comercial, estimativas do volume real e volume do cilíndrico para Messassa em Condue.

Parametros	Vcub (m3)	Vcil (m3)	ffc
\bar{y}	1,5172	1,8897	0,84
CV%	32,2097	33,7823	22,4933
Sxy %	48,8691	63,8373	18,5182

Onde: CV%- coeficiente de variação percentual; Sxy%- erro padrão percentual; \bar{y} - media; Vcub- volume real cubado; Vcil- volume do cilíndrico; ffc- fator de forma comercial.

A tabela 13 acima mostra o CV igual a 22,49 % e Sxy 18,52% e as médias do volume real e volume do cilindro de 55 observações, onde o factor de comercial médio foi de 0,84 para estimar o volume comercial com casca para espécie de Messassa.

O valor de factor de forma comercial determinado neste estudo é requerido pelos órgãos ambientais para florestas nativas de Miombo (Marzoli, 2007).

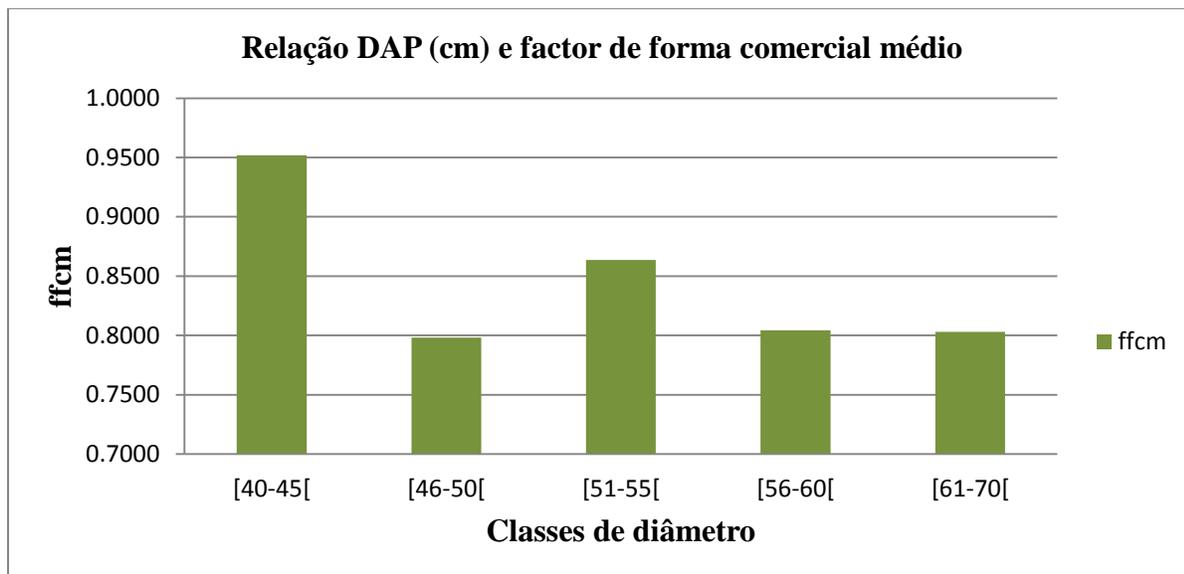


Figura 5: Relação DAP (cm) e factor de forma comercial

A figura 5 ilustra a relação DAP (cm) e o ffc, observa-se que o ff comercial médio tem uma tendência crescente para intervalo de classe dimétrica [40 – 45cm[e uma redução brusca quase

Ajuste de modelos para estimativa de volume e determinação de factor de forma comercial de *Brachystegia spiciformis* na Concessão da empresa LevasFlor

uniforme para os intervalos de classes dimétricas [46-50[; [56-60[e [61-70[, a forma e o crescimento da árvore encontradas em floresta nativa podem ser explicação possível para responder a este fenómeno quanto menor for o seu diâmetro menor e a sua variação ao longo do fuste.

O ritmo do crescimento é influenciado por factores internos (fisiológicos), externos (ecológicos) e pelo tempo, este crescimento não é igual ao longo de todo o fuste da árvore (Encinas, Silva, & Pinto, 2005).

VI. CONCLUSÕES

- ✚ As equações de Schumacher-Hall e Takata apresentaram maior precisão nos ajustes para a espécie de Messassa;
- ✚ O factor de forma comercial médio foi de 0.84 para estimar o volume de messassa na concessão da empresa LevasFlor;
- ✚ A equação de Schumacher-Hall é menos complexa do que de Takata o que torna acessível e fácil de usar;
- ✚ As Equações de volume são fácies de desenvolver com recurso modernos de computação e tem sido uma alternativa de obtenção de volume com precisão e redução de custos e estas deveriam ser uma prática comum na floresta de Miombo.

VII. RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados obtidos neste estudo recomendo:

- ✚ Aos investigadores a realizarem estudos de ajuste de equações de volume e factor de forma para espécies comerciais na floresta de Miombo em Moçambique e para o caso da floresta da concessão da empresa LevasFlor para fins de comparação. Que se opte pelo uso de regressão não linear para florestas nativas ou outras metodologias mais modernas de precisão de volume com custos relativamente baixos para o ajuste de equações de volume;
- ✚ Uma vez verificada e testada a sua veracidade recomenda-se a concessão da empresa LevasFlor, fazer a aplicação da equação e tabela de volume desenvolvida neste estudo, reduzindo custos e tempo gasto.

VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bunstar A. (2006). *Madeiras Comerciais de Mocambique: Catalogo Tecnológico*. Maputo : s.n. 2a.
- Brenno A., Cunha F., Lima A. C. V., (2017). *Bancos de dados de cubagem rigorosa de árvores-amostra de Corymbia*. Cuiabá : s.n. Vol. 4.
- Carvalho L. R. et. al., (2014). *Ajuste de modelos nao lineares de efeitos fixos, com ponderacao e misto-aplicacoes*. Brasil Biomassa.Vol. 32. pp. 299-300.
- Correia A. J., (2015). *Modelos volumétricos para florestas secundárias do litoral de santa catarina* . Florianópolis - SC : s.n.
- Cunha A. U. S., (2004). *Dendrometria e Inventario Florestal*. Manaus : s.n.
- Carvalho, L. R., Pereira, G. M., Silva, H. d., Mischan, M. M., & Furtado, E. L. (2014). Ajuste de modelos nao lineares de efeitos fixos, com ponderacao e misto-aplicacoes. *Brasil Biomassa*, 32, 299-300.
- Diogo Guido Streck Vendruscolo, R. S. (2014). Modelos Volumétricos Para Teca Em Diferentes Espaçamentos Em Cáceres, Mato Grosso . *Conhecer Cientifico Conhecer*, 2-3.
- Cháuque M., (2020). *Plano meneio florestal para a concessão florestal de Condue, Muanza e Cheringoma*, província de Sofala. Pemba.
- Drescher R. P. R. S., Augusto C. G. F., Queiroz F. L. C., (2001). *Fator de forma artificial de pinus elliottii engelm para a região da serra do sudeste do estado do rio grande do sul*. Santa Maria : Ciência Rura.
- Francisco A. A., (2019). *Ajuste de modelos para estimativa do volume de Androstachys johnsonii (Mecrusse) em Macuacua-distrito de Mandlakaze*. ISPG.
- Higuchi, N. (2008). *Noções Básicas de Manejo Florestal*. Manaus: INPA. 270p.
- Figueiredo E. O; Schroeder R.; Papa D.A. (2009). *Fatores de Forma para 20 Espécies Florestais Comerciais da Amazônia. Comunicado Técnico nº 173*. Rio Branco: Embrapa/Acre.
- Finger, C.A.G. (1992). *Fundamentos de biometria florestal*. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 269p.
- Silva, J. N. M; Carvalho, M. S. P. (1984). *Equações de volume para uma floresta secundária no planalto do Tapajós - Belterra*. Boletim de pesquisa florestal.

- Silva, A. J., Filho, J. L., Silva, M. D., Roque, C. G., & Cunha, F. F. (2015). *Ajuste De Modelos Hipsométricos E Volumétricos Para Três Clones De Eucalyptus Em Mineiros-Go*. Nucleus.
- Silva, J. A., & Neto, F. d. (1979). *Principios Basicos de Dendrometria*. Recife: Finatec.
- Siqueira, J., Tomasell, I., Detespinasse, B., Rodrigues, R., & Gornlskl, D. (2009). Apoio no gerenciamento da execucao do programa de desenvolvimento florestal do vale do Parnaíba.
- Gimenez A. B. O., (2013). *Equações Volumétricas E O Modelo Que Utiliza O Fator De Forma Médio: Um Estudo De Caso Na Amazônia Central*. Manaus, Amazonas : s.n.
- Lima G. C. P. (2015). *Comparação De Diferentes Métodos De Cubagem De Madeira De Povoamento De Pinus Taeda L. Na Região Serrana De Santa Catarina*. Santa Catarina : s.n. 20.
- Lima R. B. et. al., (2014). *Volumetria e classificação da capacidade produtiva para Mora paraensis (Ducke) no estuário amapaense*. Scientia Florestalis. Vol. 42. pp. 141-145.
- Martins A. P. M. et. al., (2016). *Eficiência De Métodos Para Estimativa Do Volume Total De Corymbia Citriodora*. Scientia Agraria Paranaensis . Vol. 15. - pp. 178-184.
- Melo A. L. C. et. al., (2013). *Estimativas Volumétricas Em Povoamento De Pinus Caribaea Var. Hondurensis No Sudoeste Da Bahia*. Pesquisa Florestal Brasileira . Vol. 33. pp. 379-386.
- Mattos T. B., (2013). *Modelos Não Lineares e suas Aplicações*. s.l.: Juiz de Fora.
- MAE (2005). *Perfil do Distrito de Cheringoma-Provincia de Sofala*. Cheringoma : s.n.
- Marzoli A. 2007. *Inventário florestal nacional. Avaliação integrada de florestas em Moçambique*.
- MITADER (2018), *Inventário Florestal Nacional*. MITADER. Maputo. 124p
- MITADER (2018), *Desflorestamento em Moçambique (2003-2016)* MITADER. Maputo.42p
- MITADER. 2016. *Estratégia Nacional para a Redução de Emissões de Desmatamento e Degradação Florestal, Conservação de Florestas e Aumento de Reservas de Carbono Através de Florestas (REDD+) 2016-2030*. Maputo, Moçambique.
- Miguel E. P. et. al., (2014). *Modelagem na predicao do volume individual em plantio de Eucalyptus urograndis*. Brasil Biomassa. Vol. 32. pp. 588-589.
- Miguel E. P., (2012). *Seleção de equações volumetricas para a predição do volume total de eucalyptus urophylla s. t. blake na região norte do estado de goiás*. Fabrício Assis Leal. Centro Científico Conhecer. Vol. 8. pp. 1375-1385.

Ajuste de modelos para estimativa de volume e determinação de factor de forma comercial de *Brachystegia spiciformis* na Concessão da empresa LevasFlor

Murta-Júnior, L. S., (2013). *Procedimentos alternativos para determinação do volume individual de árvores de eucalipto*. Universidade Federal dos Vale do Jequitinhonha e Mucuri - Diamantina - MG.

Ajuste de modelos para estimativa de volume e determinação de factor de forma comercial de *Brachystegia spiciformis* na Concessão da empresa LevasFlor

- Monguela A. M., (2019). *Estimativa de biomassa e stock de carbono na floresta de mopane no posto administrativo de combomune – localidade de mavumbuque*. ISPG
- Oliveira O. M., (2010). *Verificacao da acuraria do metodo de Pressler na estimativa do volume de arvores em pe*. Espirito Santo : s.n.
- MAE. (2005). *Perfil do Distrito de Cheringoma-Provincia de Sofala*. Cheringoma.
- Martins, A. P., Carvalho, D. E., Schmidt, L. N., Gorenstein, M. R., & Cysneiros, V. C. (2016). *Eficiência De Métodos Para Estimativa Do Volume Total De Corymbia Citriodora . Scientia Agraria Paranaensis , 15, 178-184.*
- Marzoli, A. (2007). *Inventário Florestal Nacional: Avaliação Integrada Das Florestas de Moçambique (AIFM). Direcção Nacional De Terras e Florestas, Ministério de Agricultura*. Maputo.
- Mattos, T. d. (2013). *Modelos Não Lineares e suas Aplicações*. Juiz de Fora .
- Melo, L. C., Barreto, P. A., Oliveira, F. G., & Novaes, A. B. (2013). *Estimativas Volumétricas Em Povoamento De Pinus Caribaea Var. Hondurensis No Sudoeste Da Bahia. Pesquisa Florestal Brasileira , 33, 379-386.*
- Miguel, E. P., Leal, F. A., Ono, H. A., & Leal, U. A. (2014). *Modelagem na predicao do volume individual em plantio de Eucalyptus urograndis. Brasil Biomassa, 32, 588-589.*
- Oliveira, O. M. (2010). *Verificacao da acuraria do metodo de Pressler na estimativa do volume de arvores em pe . Espirito Santo.*
- Ribeiro, N. (2016). *Miombo Network BRIEFING*. Maputo.
- Ronaldo Drescher, P. R. (2001). *Fator de forma artificial de pinus Elliottii engelm para a região da serra do sudeste do estado do rio grande do sul*. Santa Maria: Ciência Rura.
- Soares, M. G. (2017). *Relação Entre As Mudanças De Uso E Cobertura De Terra E As Queimadas Em Florestas De Miombo, Gurué, Moçambique*. Universidade Eduardo Mondlane , Maputo.
- Veloso, R. B. (2013). *Proposta de um modelo nao linear de crescimento e produtividade florestal*. Lavras-MG.

Acessada em: 17 de jun. 2021. Disponível em:
<http://www.conhecer.org.br/download/inventario/Modulo%20II%20-%20Volumetria.pdf>

Ajuste de modelos para estimativa de volume e determinação de factor de forma comercial de *Brachystegia spiciformis* na Concessão da empresa LevasFlor

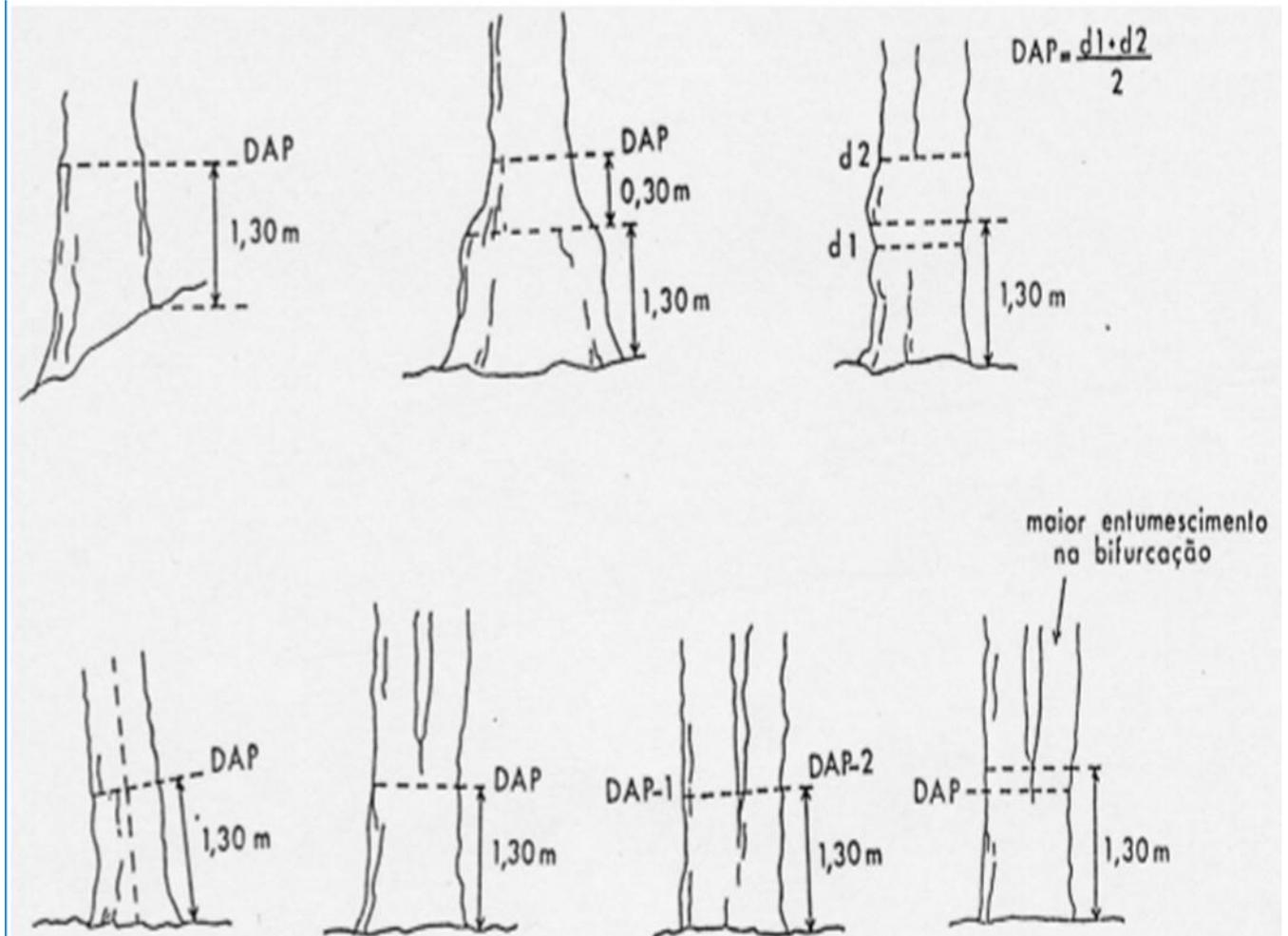
Soares, C. P. B. N., Paula F., Souza A. L., (2011). *Dendrometria e Inventário Florestal*. 2^a. ed. Viçosa: Editora UFV.

FNDS, acessado em Março de 2021

<https://www.fnds.gov.mz/index.php/pt/component/edocman/estrategia-nacional-do-redd/download>.

IX. ANEXOS

Anexo 1: Ilustrações sobre a leitura de DAP para árvores com formato ou posição irregular



Fonte: (Alegria C. M., 2004).

Ajuste de modelos para estimativa de volume e determinação de factor de forma comercial de *Brachystegia spiciformis* na Concessão da empresa LevasFlor

Anexo 3: Ficha de Campo para árvores abatidas

Distrito _____		Coord Geográficas																																				
Localidade _____		Latitude _____								Longitude _____																												
# Árv.	1ª seção			2ª seção			3ª seção			4ª seção			5ª seção			6ª seção			7ª seção			8ª seção			9ª seção			10ª seção			11ª seção			12ª seção				
	Dt	Dt	L	Dt	Dt	L	Dt	Dt	L	Dt	Dt	L	Dt	Dt	L	Dt	Dt	L	Dt	Dt	L	Dt	Dt	L	Dt	Dt	L	Dt	Dt	L	Dt	Dt	L					
1																																						
2																																						
3																																						
4																																						
5																																						
6																																						
7																																						
8																																						
9																																						
10																																						
11																																						
12																																						
13																																						
14																																						
15																																						
16																																						
17																																						
18																																						
19																																						
20																																						

Dt- diâmetro do topo; **Db-** diâmetro do topo; **L-** comprimento

Fonte: autora

Ajuste de modelos para estimativa de volume e determinação de factor de forma comercial de *Brachystegia spiciformis* na Concessão da empresa LevasFlor

Anexo 4: Dados das árvores usadas para determinação do factor de forma comercial para Messassa

Arv	Vcub (m3)	Vcil (m3)	ffc
1	1,0796	1,2859	0,8396
2	1,6645	2,7304	0,6096
3	0,6464	0,7807	0,8280
4	2,3301	1,4601	1,5959
5	1,0041	1,0929	0,9188
6	1,4956	2,2458	0,6659
7	1,0249	1,4657	0,6993
8	0,7893	1,0837	0,7283
9	0,9474	1,8769	0,5047
10	1,2592	1,3891	0,9065
11	2,0267	1,6156	1,2545
12	1,8491	2,7322	0,6768
13	0,7846	1,3012	0,6030
14	2,4894	2,8953	0,8598
15	2,2891	2,5773	0,8882
16	0,9068	1,5268	0,5940
17	1,7466	2,3366	0,7475
18	1,2740	1,4334	0,8888
19	1,5597	2,5426	0,6134
20	1,7429	3,2002	0,5446
21	1,5766	1,3996	1,1265
22	0,7492	0,8906	0,8411
23	1,9331	2,8310	0,6828
24	1,4896	1,7364	0,8579
25	1,4149	1,8965	0,7460
26	1,7102	2,8869	0,5924
27	1,0612	1,3483	0,7871
28	1,0175	1,2955	0,7854
29	1,5681	2,4841	0,6312
30	1,1013	1,2763	0,8629
31	1,8697	1,9696	0,9493
32	2,0780	2,5426	0,8173
33	1,1643	1,4708	0,7916
34	0,9398	1,2667	0,7420
35	2,1609	2,3672	0,9129
36	1,8115	2,5737	0,7038
37	1,7494	1,8322	0,9548
38	1,2648	1,5311	0,8261
39	1,5700	2,1206	0,7404
40	1,3589	1,9235	0,7065
41	2,1394	2,2167	0,9651
42	1,3443	1,6217	0,8289
43	1,1843	1,6270	0,7279
44	1,4654	1,6063	0,9123
45	1,7272	2,1771	0,7933
46	1,3443	1,3941	0,9643
47	1,2080	1,4115	0,8559
48	1,6213	1,7870	0,9073
49	1,9571	1,7241	1,1351
50	1,9417	1,6859	1,1518
51	2,9504	3,5927	0,8212
52	1,8876	2,5059	0,7533
53	1,9826	2,8538	0,6947
54	1,0076	1,1971	0,8417
55	1,1866	1,3155	0,9020

Fonte: autora