

634.0.8 (679.2)

mi Eng. F-14



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE AGRONOMIA E ENGENHARIA FLORESTAL
Departamento de Engenharia Florestal

Bali.14

Projecto final

23563

Determinação das propriedades físicas e mecânicas da
***Sterculia quinqueloba* proveniente da província de**
Cabo Delgado



Autor:

Reinaldo Calçada Guina Luís

Supervisores:

Prof. Doutora Lídia Brito

Engenheiro Muino Taquidir

Maputo, Dezembro de 2006

Eng. F-14

DEDICATÓRIA

Aos meus pais:

Calçada Sebastião Luís

e

Rosa Albertina Guina Luís

Aos meus irmãos:

Evandro Luís

Maria Cláudia

AGRADECIMENTOS

A Professora Doutora Lídia Brito e ao Engenheiro Muino Taquidir, que durante todas as fases do trabalho procederam a devida supervisão, orientação e acompanhamento.

A toda minha família, em particular aos meus pais Calçada e Rosa, a minha tia Ana Maria pela paciência, conselhos e o carinho nos momentos difíceis.

Aos meus colegas de turma e curso, especialmente ao Célio Guila, Cândido João, Helder Paulo, Dlate.

Aos Engenheiros Manhiça e Bila e ao Doutor Falcão.

Ao pessoal das residências Stelio, Bila, Sérgio, Globe, Eddy, Vado, e outros.

Aos senhores Agostinho Langa e Paulo pela assistência prestada na execução do trabalho laboratorial.

Aos meus amigos, em especial ao Pulo, Leo, Candido.

Um muito obrigado.

ÍNDICE

CONTEÚDO

	Página
Dedicatória.....	i
Agradecimento.....	ii
Índice.....	iii
Listas de tabelas....	v
Resumo.....	vi
I. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Objectivo.....	3
1.1.1. Geral.....	3
1.1.2. Específicos.....	3
II. REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	4
2.1. Propriedades físicas da madeira.....	4
2.1.1. Higroscopicidade.....	4
2.1.2. Densidade.....	6
2.1.3. Retracção e Inchamento.....	7
2.1.4. Factor Anisotrópico.....	8
2.2. Propriedades Mecânicas da Madeira.....	9
2.2.1. Factores que influenciam as propriedades mecânicas.....	10
2.3. Descrição da Espécie.....	13
2.3.1. Habitat.....	13
2.3.2. Descrição da árvore.....	14
2.3.3. Característica da Madeira.....	14

III. MATERIAL E METODOS.....	16
3.1. Material.....	16
3.2. Metodologia.....	17
3.2.1. Propriedades Físicas.....	17
3.2.2. Propriedade Mecânica.....	20
IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	23
4.1. Propriedades Físicas.....	24
4.2. Propriedades Mecânicas.....	26
V. CONCLUSÕES.....	28
VI RECOMENDAÇÕES.....	29
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	30

LISTA DE TABELA

	Página
Tabela 1: Variação da resistência da madeira para cada 1% de humidade de variação de humidade.....	23
Tabela 2: Propriedades físicas obtidas para a madeira de <i>Sterculia quinqueloba</i> proveniente da província de Cabo Delgado.....	24
Tabela 3: Propriedades físicas e mecânicas obtidas para a madeira de <i>Sterculia quinqueloba</i> proveniente da província de Cabo Delgado.....	26

RESUMO

A ultra-estrutura e a composição química da madeira, bem como suas propriedades físicas e mecânicas, variam significativamente entre espécies, entre árvores de uma mesma espécie e, mesmo, entre diferentes partes de uma mesma árvore.

Neste trabalho foram avaliadas as propriedades físicas e mecânicas da espécie *Sterculia quinqueloba* proveniente da província de Cabo Delgado.

Para realização deste trabalho seleccionaram-se cinco (5) árvores de *Sterculia quinqueloba* para avaliações das propriedades físicas e mecânicas, obtendo-se 25 corpos-de-prova para cada ensaio. A selecção de corpo de prova e propriedades físicas foram determinadas pelas normas COPANT 458, 461 e 462 (1972) e as propriedades mecânicas Portuguesa 74 (1961).

Constataram-se da espécie valores da densidade básica de 0.56g/cm^3 , classificando-a como uma madeira leve. Apresenta uma retracção média segundo os resultados da retracção radial, tangencial e volumétrica de 4.35% , 8.69% e 12.45% respectivamente. O factor anisotrópico calculado foi de 1.89, apresentado assim uma madeira com uma estabilidade dimensional normal. O resultado observado para MOR e MOE foram de 967 e 83166 kg/cm^2 . Porém os valores encontrados para *S. Quinqueloba*, colocam a espécie com potencial para entre outros usos da madeira, o da produção de moveis e construções leve.

I. INTRODUÇÃO

Hoje é muito notório a existência de um grande número de usuários que utilizam a madeira baseando-se apenas nas regras tradicionais e empíricas, para a definição do seu uso. Outros, optam por materiais alternativos como o ferro e o plástico, em lugares onde a utilização da madeira teria significativa vantagem. Este facto pode dever-se a várias razões, dentre as quais se destaca a falta de informação técnica sobre algumas madeiras, o que traz como consequência um relativo desinteresse no seu emprego.

Na escolha correcta da madeira para um determinado uso, deve-se considerar as suas propriedades físicas e mecânicas para que a madeira possa ter um desempenho satisfatório. Esse procedimento é primordial principalmente em países tropicais onde a variedade e o número de espécies de madeiras existentes na floresta são expressões da sua biodiversidade. Neste aspecto, conforme destaca Tsoumis (1991), as características físicas e mecânicas variam muito de uma espécie para outra, influenciando directamente a qualidade final da madeira obtida, e conseqüentemente, o seu uso.

Moçambique encontra-se numa zona subtropical, onde existe uma grande variedade de espécies. Segundo a lei de Florestas e Fauna bravia (2002), existem em Moçambique cerca de 118 espécies diferentes, mas apenas 10 espécies são consideradas de alto valor comercial, deixando para o segundo plano as outras, entre elas encontra-se a *Sterculia quinqueloba*. Este facto ocorre devido ao pouco conhecimento existente acerca das suas propriedades físicas e mecânicas. Este conhecimento possibilita o seu melhor uso, permite também a introdução de novas espécies no mercado, como matéria prima qualificada para usos pré-determinados ou como substitutos das espécies tradicionalmente utilizadas ora em escassez. A escolha da espécie mais adequada para a finalidade que se deseja é de

Determinação das propriedades físicas e mecânicas da *Sterculia quinqueloba* proveniente da província de Cabo Delgado

fundamental importância, já que as variações de qualidade da madeira existentes entre as diferentes espécies nativas disponíveis em Moçambique é muito elevada.

Segundo a Lei de Floresta e Fauna (2002), entre os diversos géneros de espécies arbóreas nativas de Moçambique de interesse económico a *Sterculia quinqueloba*, que comercialmente é conhecida em Moçambique por Metonha, trata-se de uma espécie de 2^o classe que ocorre ao norte do rio Save, em Moçambique (Cardoso, 1964). Poucos são os estudos que foram efectuados sobre a adequação da sua madeira a uma multiplicidade de usos (celulose, papel, móveis, estruturas para construção civil, postes, entre outros). Para esse propósito, várias características físicas e mecânicas possuem importância relevante, como a humidade, a densidade, a retracção, o factor anisotrópico, o módulo de ruptura e o módulo de elasticidade.

A partir da determinação das propriedades físicas e mecânicas da Metonha pretende-se contribuir para actualização da informação existente, para a valorização da riqueza florestal de Moçambique e simultaneamente recomendar de acordo com as propriedades determinados usos de forma a elevar o valor desta espécie no mercado nacional.

Este trabalho visa determinar as propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Sterculia quinqueloba* proveniente de Cabo Delgado, no contexto das pesquisas definidas na Secção de Ciência e Tecnologia da Madeira do Departamento de Engenharia Florestal na Universidade Eduardo Mondlane,

Determinação das propriedades físicas e mecânicas da *Sterculia quinqueloba* proveniente da província de Cabo Delgado

1.1. Objectivo

1.1.1. Geral:

Determinar as propriedades físicas e mecânicas da Metonha (*Sterculia quinqueloba*).

1.1.2. Específicos:

- Determinar as densidades básica;
- Determinar as Retracções (radial, tangencial e volumétrica);
- Determinar o Factor Anisotrópico;
- Determinar através do teste de flexão estática: o Módulo de Elasticidade (MOE) e Módulo de Ruptura (MOR).

II. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1. Propriedades físicas da madeira

O estudo das propriedades físicas da madeira, é de importância indispensável, na caracterização tecnológica da madeira, pois sua variação, afecta as propriedades mecânicas e outras propriedades da madeira, que são essenciais para sua utilização na indústria, na construção e na produção de imóveis (Evans et al., 2000). Segundo a Eucalipto (2003), as principais propriedades físicas da madeira que provocam impacto na qualidade do produto final a ser produzido são: a densidade, a higroscopicidade, estabilidade dimensional.

2.1.1. Higroscopicidade

A madeira é um material higroscópico, sendo capaz de absorver ou perder água para o meio ambiente, essa característica é explicada pela constituição química da madeira, composta pelos polímeros de celulose, hemiceluloses e lignina (Tsoumis, 1991). O mesmo autor, referencia que dentre essas substâncias, a celulose é a mais hidrófila, contribuindo para a variação dimensional da madeira em função da troca de água com o meio. A higroscopicidade acontece devido a capacidade dos grupos hidroxilos (OH) na celulose, atraírem moléculas de água, através das ligações de pontes de hidrogénio (Gomes, 1997).

Grande parte do peso de uma árvore deve-se ao conteúdo de humidade que se encontra na madeira, embora a humidade não possa ser considerada como uma característica intrínseca da madeira, o seu estudo é indispensável por se tratar de um parâmetro que afecta o comportamento do material, quanto à trabalhabilidade, estabilidade dimensional, resistência mecânica e durabilidade natural (Evans et al., 2000). Por ser um material orgânico e de estrutura heterogénea e complexa, a madeira é altamente higroscópica, retraindo-se e

inchando de acordo com a humidade do ambiente (Kollmann e Cote, 1968). Essa variação no teor de humidade afecta a geometria das peças em serviço, em virtude da retracção e do intumescimento, o que afecta as características de resistência mecânica dos elementos estruturais, (Marcos, José & Ivan, 1995).

A variação de humidade dentro das peças de madeira promove defeitos quando a peça atinge um teor de humidade inferior ao ponto de saturação das fibras¹ (em torno de 30% de humidade) (Moreschi, 1999). Desse modo, a variação dimensional pode ser controlada se os constituintes hidrófilos da madeira alterarem sua afinidade pela água, pode acontecer através do tratamento térmico, essa higroscopicidade pode ser reduzida devido à degradação da hemicelulose e demais modificações na estrutura da madeira (Gomes, 1997).

O teor de humidade de uma madeira é a relação entre o peso da água contida no seu interior e o seu peso no estado completamente seco, expresso em percentagem. A densidade da madeira de uma árvore recém abatida está em função da água contida nos espaços celulares e intercelulares da madeira (água livre ou capilar), da água impregnada nas paredes celulares (água de impregnação) e da água que participa da constituição química da madeira (água de adsorção química) (Kollmann e Cote, 1968). O mesmo autor afirma que, a retirada da água livre pouco altera a madeira, além de seu peso próprio. Ao contrário, a remoção da água que preenche os espaços submicroscópicos da madeira, separando os constituintes da parede celular, provoca importantes modificações com aproximação das micelas e microfibrilas, conferindo-lhe maior rigidez. Desta forma, somente a água contida na parede celular afecta as propriedades físicas e mecânicas.

¹ Ponto de saturação das fibras define-se como o teor de humidade da madeira no momento em que esta já perdeu toda a água livre, porém ainda mantém as paredes celulares saturadas de humidade

As informações relativas à distribuição da humidade no interior da madeira são de grande importância na segregação das peças em teores de humidade mais uniformes, de modo a facilitar a secagem tanto no que diz respeito à minimização de defeitos quanto à obtenção de menor variabilidade em torno do teor de humidade médio pretendido. A humidade da madeira na árvore pode variar de 31 a 249% no cerne e de 40-213% no borne (FPL, 1987).

2.1.2. Densidade

A densidade é um reflexo fiel da quantidade de material lenhoso por unidade de volume ou, de forma inversa, do volume de espaços vazios existentes na madeira, (Moreschi, 1999). A densidade constitui uma das propriedades físicas mais importantes da madeira na sua caracterização, pois dela dependem a maior parte de suas propriedades físicas e mecânicas, servindo na prática como uma referência para a classificação da madeira. Em regra geral, madeiras pesadas são mais resistentes, elásticas e duras que as leves, porém, em paralelo a estas vantagens, são de difícil trabalhabilidade e apresentam maior variabilidade (Evans et al., 2000).

Spurr & Hyvarinen (1954) destacaram que variações na densidade da madeira, entre e dentro de indivíduos da mesma espécie, se devem ao resultado diferenciado no volume de poros e na presença de extractivos. No entanto, para eles, não existe um padrão definido para essas variações dentro de uma árvore, mas sim uma ideia aproximada de sua tendência geral ao longo do fuste, no sentido medula-casca e com a idade. Segundo Tsoumis (1991), as condições ambientais do local de crescimento (solo, clima, declividade, espaçamento) e a hereditariedade influenciam directamente a variação da densidade entre árvores da mesma espécie. Panshin & De Zeeuw (1980) descreveram dois modos de variação da densidade da madeira ao longo do fuste:

- Redução da densidade com o aumento da altura da árvore;
- Decréscimo na parte inferior do tronco, seguido de acréscimo regular nos níveis superiores do tronco;

2.1.3. Retracção e Inchamento

Retracção significa redução e inchamento significa aumento das dimensões iniciais da madeira, devido a mudanças do conteúdo de humidade (Kollmann e Cote, 1968). As características de retracção e do inchamento da madeira são bastante diferentes entre as espécies, dependendo do modo de condução da secagem e do próprio comportamento da madeira, o que leva ocasionalmente a alterações da forma e à formação de fendas e empenos (Evans et al., 2000). Precauções especiais devem ser tomadas nas situações em que se exige a estabilidade da madeira, por exemplo: em edificações, pisos, esquadrias, portas e móveis em geral, podem ocorrer sérios prejuízos, chegando, mesmo, a inviabilizar o produto final, a correcta secagem deve ser feita até a humidade de equilíbrio das condições de uso, (Moreschi, 1999).

Segundo Spurr & Hyvarinen (1954), a retratibilidade da madeira é o fenómeno relacionado à variação dimensional da madeira (as variações nas dimensões nas peças de madeira começam a ocorrer quando se perde ou se ganha humidade abaixo do ponto de saturação das fibras), em função da troca de humidade do material com o meio que o envolve, até que seja atingida uma condição de equilíbrio, chamada de humidade de equilíbrio higroscópico.

Apesar da retratibilidade volumétrica expressar a variação total ocorrida na variação higroscópica, as retracções lineares que ocorrem ao longo dos planos de orientação da madeira são diferentes (De Rezende et al,1995). Deve-se ser dada uma atenção à

movimentação transversal das madeiras, uma vez que estas se diferem conforme as direcções tangencial ou radial, sendo a primeira maior que a segunda.

2.1.4. Factor Anisotrópico

Analisando a variação dimensional na direcção transversal (radial e tangencial), encontra-se uma grande diferença entre os valores da retratibilidade. A diferença entre as retracções é chamado factor anisotrópico, ou seja, a relação entre a retratibilidade na direcção tangencial dividida pela mesma propriedade na direcção radial. A razão dessa diferença entre a retracção tangencial e a retracção radial não está ainda bem esclarecida, e atribui-se principalmente a estrutura da parede celular (De Rezende et al, 1995). A parede primária é muito fina, comparativamente a parede secundária que possui três camadas com diferentes orientações das microfibrilas e quando a humidade é absorvida, a camada do meio tende a inchar na proporção de numero de microfibrilas, enquanto que as outras duas camadas tendem a retrain, devido a orientação diferente das microfibrilas (Spurr & Hyvarinen, 1954).

Essa relação (tangencial/ radial) explica frequentemente as deformações da madeira com as variações de humidade (Evans et al., 2000). A situação ideal seria aquela em que as tensões decorrentes da natureza anisotrópica se anulassem segundo as direcções em que a retratibilidade se manifestasse, isto é, um factor anisotrópico igual a um (1), o que na prática raramente acontece (Moreschi, 1999). A grande importância desse índice é que, quanto maior for o seu distanciamento da unidade, mais propensa é a madeira se fendilhar e empenar. Em geral, a retracção na direcção tangencial é aproximadamente 1,5 a 2 vezes maior do que a que ocorre na direcção radial (Moreschi, 1999).

Determinação das propriedades físicas e mecânicas da *Sterculia quinqueloba* proveniente da província de Cabo Delgado

Para as madeiras mais estáveis, os valores de factor de anisotropia variam de 1,3 a 1,4, mas para madeiras de eucalipto, principalmente aquelas provenientes de árvores jovens e de rápido crescimento, os índices podem chegar a 3, tornando-as extremamente nervosas dimensionalmente (Neves, 1997). Existe um critério de classificação quanto ao factor anisotrópico: madeiras com factores entre 1,2 a 1,5 são consideradas excelentes, ocorrendo em madeira de *Milletia stuhlmannii*, *Burkea africana*; factores entre 1,5 a 2,0 são consideradas normais, ocorrendo em *Azelia quanzensis*, *Pterocarpus angolensis*; factores acima de 2,0 são consideradas ruins, ocorrendo em *Manotes* e *Eucaliptus* sp. (MADEBRAS, 1982). Coeficientes de anisotropia de retracção baixos, mas com retracções tangencial e radial excessivas provocam a instabilidade dimensional da madeira, (Moreschi, 1999).

Os valores da contracção tangencial oscilam em torno do dobro dos valores encontrados na contracção radial, podendo chegar ao triplo, em casos extremos, como no caso da madeira de Eucalipto, e são vinte vezes maior que os detectados no sentido longitudinal ou axial (Neves, 1997).

2.2. Propriedades Mecânicas da Madeira

O Módulo de Ruptura (MOR) e o Módulo de Elasticidade (MOE) são os dois parâmetros normalmente determinados em testes mecânicos e são de grande importância na caracterização tecnológica da madeira, porque ambos estimam a resistência do material submetido a uma força aplicada perpendicularmente ao eixo longitudinal da peça (ABPM, 1985).

Elasticidade é a propriedade da madeira sólida que a possibilita retomar a sua forma original, após a remoção da carga aplicada que causou uma certa deformação. As propriedades elásticas são características de corpos sólidos, observadas somente quando a carga aplicada se situa abaixo do limite proporcional de elasticidade; acima deste limite ocorrerão deformações plásticas (irreversíveis), seguida pela ruptura do material onde obtém-se o MOR (Muller, 1980).

Segundo Moreschi (1999), o Módulo de Elasticidade (MOE) expressa a carga necessária para distender um corpo de 1 cm² de área transversal, a uma distância igual ao seu próprio comprimento. Segundo o mesmo autor, em geral pode-se dizer que:

- Quanto mais alto o MOE, mais alta é a resistência do material;
- Quanto mais alto o MOE, mais baixa será a deformabilidade do material;
- Quanto mais baixo o MOE, piores serão as qualidades do material para fins de construções civis.

Segundo Timell (1986), o MOR mede a capacidade do material para aceitar lentamente a aplicação de uma carga. Estes valores são de grande importância porque dão uma boa ideia da resistência do material (Brito, 1984).

2.2.1. Factores que influenciam as propriedades mecânicas

(a) Conteúdo de humidade

O conteúdo de humidade da madeira tem um efeito pronunciado em muitas das suas propriedades mecânicas. Em geral, a diminuição do conteúdo de humidade abaixo do PSF é acompanhado por um aumento de resistência (Muller, 1968).

Determinação das propriedades físicas e mecânicas da *Sterculia quinqueloba* proveniente da província de Cabo Delgado

Segundo Bodig et al (1982), as características de resistência da madeira apresentam valores máximos quando o conteúdo de humidade está entre 5 a 8%.

(b) Influência da densidade na resistência mecânica

A resistência mecânica da madeira depende, de um modo geral, da sua densidade. Ora, essa característica, para uma mesma espécie, pode variar largamente, para amostras oriundas de árvores diferentes ou ainda de uma só árvore, do que resulta a conseqüente variação das propriedades mecânicas (Bodig et al, 1982).

Segundo Bodig et al (1982), mostra que a maioria das propriedades de resistência da madeira sem defeito correlaciona-se positivamente com a densidade. Este facto permite estimar a sua resistência a partir da densidade.

Segundo trabalhos experimentais do USDA (1974), é possível serem estabelecidas relações definidas entre a densidade e ao tipo de ensaio: essas relações seriam do tipo parabólico e com forma geral :

$$R = C * D^n \quad (1)$$

Onde:

R - a resistência;

C - um coeficiente variável com a espécie de madeira;

D - Densidade;

n - Um expoente constante para cada tipo de ensaio.

(c) Posição do corpo de prova no tronco

Quando a madeira é tirada de partes diferentes de um mesmo tronco, pode apresentar variações sensíveis nas propriedades mecânicas, entretanto, na maioria dos casos, pode-se atribuir, também, essas diferenças às variações existente na densidade (Muller, 1968).

(d) Influência do lugar de crescimento

Em alguns casos o local de crescimento tem influência na resistência da madeira. Isso pode ser devido às diferenças as condições ambientais do local de crescimento (solo, clima, declividade, espaçamento) (Panshin & de Zeeuw, 1980).

(e) Nós

Os nós surgem na madeira devido a inserção dum ramo no tronco principal da árvore. Eles são de varias formas (ovais, redondos, etc.) e podem ser vivos ou mortos. O número, tamanho e o tipo de nós formados na madeira depende do número e tamanho e os ramos que os originam, da idade em que os ramos morrem e do período de tempo em que a ponta do ramo permanece no tronco (Panshin & de Zeeuw, 1980).

Para Muller (1968), os nós são o defeito que mais afecta a resistência da madeira estrutural, pois a sua presença na madeira influi marcadamente na flexão, tensão e na resistência à compressão. Todavia, maior perda de resistência devido a presença de nós ocorre em corpos sujeitos à esforço de flexão (Panshin & Zeeuw, 1980).

(f) Desvio da grã

O termo "desvio da grã" é aplicado para qualquer condição em que o alinhamento das fibras não é paralelo ao longo do eixo da peça de madeira, o desvio pode ocorrer de forma natural ou provocado durante o processamento.

Determinação das propriedades físicas e mecânicas da *Sterculia quinqueloba* proveniente da província de Cabo Delgado

Kollman & Coté (1984) afirmam que quando o desvio é suficiente para reduzir a resistência mecânica, então o desvio da grã é considerado um defeito. Entretanto, Muller (1968) define-o como um defeito pouco evidente, mas que causa sérios efeitos na madeira estrutural, isto porque o local onde a grã se desvia está em redor de nós e estes reduzem a resistência da madeira. De qualquer modo, todas as formas de desvio da grã causam sérios efeitos nas propriedades mecânicas da madeira (USDA, 1987).

2.3. Descrição da Espécie

A *Sterculia quinqueloba* (Garcke) K. Schm. pertence à classe Dicotyledoneas, família Sterculiaceae e é comercialmente conhecido por Metonha em Moçambique (Wyk, 1997). Apresenta vários nomes vernaculares, que varia de região para região e mesmo dentro da mesma região apresenta diversos nomes. Na região centro é conhecida por Injale, Douê, Muleva; na região norte é conhecida por Metonha, Merongo, Nicorria. No Zimbabwe a espécie é conhecida por Mungosa, Mutedza (Cardoso, 1964).

2.3.1. Habitat

No geral a espécie encontra-se na África austral, em países como Angola, Zimbabwe, Tanzânia, Namíbia e Moçambique até um pouco a sul do rio Zambeze (Wyk, 1997).

Em Moçambique a espécie encontra-se ao norte do rio Púngué, nas províncias do Niassa, Zambézia, Nampula, Manica e Sofala. Foi anotada a sua existência nos seguintes locais: Província do Niassa: margens do lago Niassa, Amaramba e Mecanhedas; Província de Cabo Delgado: Montepuez, Messalo, Negomano, Palma, Macondes, Macomia e Muchojo; Província de Nampula: Nacala, Meconta, Imala, Nampula, Ribáuè, Malema, Mutuáli, Mogincual, Mogovolas e Angoche; Província da Zambézia: Molumbo, Alto Molócué, Gilé,

Determinação das propriedades físicas e mecânicas da *Sterculia quinqueloba* proveniente da província de Cabo Delgado

Derre e Morrumbala; Província de Tete: Chicoa e Zumbo; Província de Manica e Sofala: Zongorguè e Caia (Cardoso, 1964).

2.3.2. Descrição da árvore

Segundo Cardoso (1966), a Metonha é uma de porte alto, de 15 a mais de 20 m; Copa Sub-hemisférica, larga, formada no alto da árvore; Folhagem grande e abundante; Tronco alto, de 10 a mais de 15 m, direito, largo de diâmetro entre 0,70 a 1,20 m, acilindrado, base um pouco alargada pelos contrafortes que não são muito grandes; Pernadas um pouco grossas, formadas geralmente no alto do tronco e mais ou menos à mesmas altura; Ramos inermes, um pouco grossos, de cor acinzentada; Folhas caducas, alternas, simples, coriáceas, pubescentes em especial na página inferior, grandes e largas de 25x30 cm, ou mais de diâmetros, palmatilobadas, com 5 lóbulos, em geral três acuminados, base cordata, longamente pecioladas, pecíolo compridos de 7 a 17 cm, ferruginosas, folhas formando-se nas extremidades dos ramos; Flores amareladas, dispostas em panículas, ramificadas; Terminais, compridas de 6 a 12 cm, dispostas nos extremos dos raminhos; Frutos folículos em grupos de 5, às vezes 4, nos extremos dos raminhos, em forma de canoa quando abrem, coriáceos, densamente tomentosos, de cor castanha; Com 2, 3 ou mais sementes, de 1,8 a 2cm de comprimento.

2.3.3. Característica da Madeira

Segundo Bunster (1995), a madeira da Metonha apresenta o seguinte aspecto macroscópico, o cerne é castanho-dourado com faixas irregulares de castanho mais intenso. Desenho longitudinal enrugado. Pouco brilhante. Grã direita por vezes irregular. Textura média a grosseira, o que permite uma facilidade de serrar e plainar, contudo a superfície pode não ficar com bom acabamento devido a irregularidade existente da grã. A madeira da *Sterculia quinqueloba* tem o problema de não aceitar bem a cola.

Determinação das propriedades físicas e mecânicas da *Sterculia quinqueloba* proveniente da província de Cabo Delgado

Segundo Cardoso (1964) a sua madeira serve bem para caixoteria e moldes de obra de cimento armado; como massa lenhosa, o seu aspecto indica que podia ser utilizada na indústria química de transformação da madeira.

Segundo a listas de classificação das espécies produtoras de madeira previstas no n.º 1 do artigo 11 do Regulamento da Lei de Florestas e Fauna Bravia classifica a espécie *Sterculia quinqueloba* como uma espécie produtora de madeira da 2ª Classe.

III. MATERIAL E METODOS

3.1. Material

O material de estudo colectou-se na província de Cabo Delgado, as amostras retiram-se de cinco toros diferentes, com um DAP (diâmetro a altura do peito) médio de 32 cm e uma altura média de 26m.

A selecção das árvores foi feita com base na norma COPANT 458 (1972), a qual recomenda que a amostragem seja feita de uma forma aleatória num talhão previamente escolhido e que apresente boas condições de forma (vigor) e sanidade. De cada árvore seleccionada, foi extraído um toro de 100cm a partir da altura do DAP e posteriormente transformado em barrotes de 10x10x100 cm, respectivamente nas direcções tangencial, radial e axial, os quais em seguida foram transportados para Maputo para elaboração dos corpos de prova.

A elaboração dos corpos de prova foi feita com base na norma COPANT 458 (1972), de cada barrote retirou-se cinco corpos de prova com dimensões 2*2*10 cm, para a determinação das propriedades físicas e 2*2*34 cm para as propriedades mecânicas, que efectuo-se segundo as normas COPANT 461 e 462 (1972) e Portuguesa 74 (1961) respectivamente. Os corpos de provas seleccionados para os diferentes ensaios estavam livre de defeito, conforme o requerimento das normas consideradas.

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Tecnologia da Madeira da Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal, que dispunha do equipamento necessário para caracterização das propriedades físico e mecânicas.

Determinação das propriedades físicas e mecânicas da *Sterculia quinqueloba* proveniente da província de Cabo Delgado

O material utilizado no laboratório para a execução dos ensaios físicos e mecânicos são os seguintes:

- Régua gradada de 30 cm;
- Paquímetro;
- Balança electrónica com precisão de 0,01g;
- Estufa;
- Caneta;
- Lápis;
- Papel;
- Relógio de mesa;
- Bomba de vácuo;
- Parafina;
- Fogão eléctrico.

Para a determinação das propriedades mecânicas da madeira utilizou-se a máquina universal de ensaio de marca KraftmeBwandler, com capacidade de 100KN.

3.2. Metodologia

3.2.1. Propriedades Físicas

(a) Determinação de conteúdo de humidade

O conteúdo de humidade determinou-se segundo o método gravimétrico.

- Pesou-se os corpos de prova à uma humidade h e obteve-se a massa P_h . As amostras foram pesadas em balança electrónica com precisão de centésimo de grama.
- Secou-se os corpos de prova em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ até a constância de massa, e obteve-se a massa seca (P_o).

$$H = (Ph - Po) * 100 / Po \quad (2)$$

Onde:

H = Conteúdo de humidade da madeira em percentagem (%)

Ph = Peso húmido (g)

Po = Peso seco (g)

(b) Determinação da densidade

O método a seguir para determinação da densidade seguiu-se as norma COPANT 461 (1972).

As dimensões nominais dos corpos de prova foram 2*2*10 cm. Para a obtenção do estado verde dos provetas, o qual possibilitou a determinação do volume verde, submeteu-se os provetas a uma saturação com auxílio da bomba de vácuo, durante 3 dias aproximadamente. O volume e peso anidro, obteu-se com a secagem dos provetas 103+ 2°C até peso constante. A densidade básica foi determinada pela razão entre a massa seca e o volume saturado.

É de salientar que antes da determinação do volume anidro, os provetas logo que saíram da estufa mergulhou-se rapidamente em parafina líquida aquecida à + 90 °C, onde formou-se uma camada fina e impermeável, evitando desta forma a absorção da água.

Densidade Básica

$$D_b = P_o/V_v \quad (3)$$

Onde:

D_b = Densidade básica (g/cm^3)

P_o = Peso seco (g)

V_v = Volume Verde (cm^3)

(c) Retracção

A retracção, foi determinada de acordo com os procedimentos descritos na norma COPANT 462.

As dimensões nominais dos corpos de prova foram de $2 \times 2 \times 10$ cm nas direcções radial tangencial e longitudinal. Após a saturação (com auxilio da bomba de vácuo, durante 3 dias aproximadamente) dos corpos de prova em água, isto é, estabilização do peso, humidade acima do ponto de saturação das fibras, os corpos de prova foram pesados e mensurados. As medidas foram feitas em 3 pontos equidistantes nos planos tangencial e radial. Antes de cada pesagem, enxugou-se com papel de filtro e deixou-se durante um a dois minutos num recipiente, onde se deu a homogeneização da sua humidade. Em seguida, os corpos de prova foram colocados para secar na estufa a 103 ± 2 °C, até o peso constante. Após a estabilização dos pesos, os corpos foram mensurados, novamente. A retracção mede a diferença na dimensão do corpo de prova quando estão completamente saturados para completamente secos.

Determinação das propriedades físicas e mecânicas da *Sterculia quinqueloba* proveniente da província de Cabo Delgado

É de salientar que antes das medições no estado anidro, os provetas logo que saíram da estufa mergulhou-se rapidamente em parafina líquida aquecida à + 90 °C, onde formou-se uma camada fina e impermeável, evitando desta forma a absorção da água.

Retracção

$$R_i = (d_h - d_o) * 100 / d_h \quad (4)$$

$$R_v = (V_v - V_o) * 100 / V_v \quad (5)$$

O Factor anisotrópico

$$FA = R_t / R_r \quad (6)$$

Onde:

R - Retracção linear (%);

R_v - Retracção volumétrica (%);

i - Direcção radial e tangencial;

d_h - Dimensão no estado saturado (cm);

d_o - Dimensão no estado anidro secagem até 0 °C (cm);

V_v - Volume no estado saturado (cm³);

V_o - Volume no estado anidro secagem até 0 °C (cm³);

R_t = Retracção tangencial total (%);

R_r = Retracção radial total (%);

R_v = Retracção volumétrica total (%);

FA = Factor Anisotrópico;

3.2.2. Propriedade Mecânica

O ensaio de flexão estática consiste em flectir até à ruptura um provete apoiado nas duas extremidades sob carga a meio e progressivamente introduzida. Através da flexão estática Foi possível a caracterização da rigidez da madeira através da medição do valor médio do módulo de elasticidade e o módulo de ruptura determinado na fase de comportamento elástico e no momento de ruptura do corpo de prova Para isso, respeitaram-se os métodos de ensaio especificados na Norma Portuguesa 74 (1961).

(a) Módulo de Ruptura (MOR)

- Mediu-se a distância entre apoios, a largura e a espessura do corpo-de-prova;
- Colocou-se os corpos de prova sobre dois apoios articulados e que tinham uma distância entre seus eixos de 28 cm (vão livre).
- Efectuou-se a leitura da carga aplicada a cada 5 kg (na máquina de ensaios) e da deformação do corpo-de-prova correspondente (no deflectômetro);
- Registrou-se a carga máxima, no momento da ruptura, examinou-se e anotou-se algumas irregularidades na forma de ruptura;
- Calculou-se a resistência máxima;

(b) Módulo de Elasticidade (MOE)

Confeccionou-se o gráfico carga-deformação com os valores obtidos no passo, acima referido. Em seguida determinou-se o limite de proporcionalidade, identificado pelo ponto tangente da linha traçada sobre a parte linear da curva. No gráfico, determinou-se a carga e a deformação correspondentes ao limite de proporcionalidade. Calculou-se o módulo de elasticidade com os valores obtidos com a execução do passo anterior.

Determinação das propriedades físicas e mecânicas da *Sterculia quinqueloba* proveniente da província de Cabo Delgado

NB: Durante o ensaio registaram-se os valores da carga exercida sobre o provete e a deformação sofrida, para posterior cálculo da tensão de rotura por flexão estática. Logo após o ensaio, determinou-se a densidade e o conteúdo de humidade.

$$\text{MOR} = 3PL/2bh^3 \quad (7)$$

$$\text{MOE} = P_1L/4bh^3y \quad (8)$$

Onde:

MOR = Tensão de rotura a humidade H (Kg/cm²)

MOE = Módulo de elasticidade (Kg/cm²)

P = Carga aplicada ao proveta (Kgf)

P₁ = Carga no limite proporcional (Kgf)

y = Flecha produzida pela carga (cm)

L = Distância entre apoios (cm)

b = Largura do proveta (cm)

h = Altura do proveta (cm)

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados para teores de humidade diferentes de 12%, os valores foram corrigidos conforme a tabela 1, segundo Pfeil (1985)

Tabela 1. Variação da resistência da madeira para cada 1% de humidade de variação de humidade

Resistência	% de mudança para 1% de variação de humidade
Flexão Estática	
Módulo de ruptura	4
Módulo de elasticidade	2

Fonte: Pfeil 1985

Todo os resultados são apresentados da seguinte maneira: unidades, número de corpos de prova pesquisados, valor médio, coeficiente de variação e a qualificação correspondente.

Os resultados obtidos, nos diferentes tipos de testes efectuados, encontram-se resumidos em forma de tabela. A tabela 2 apresenta um resumo dos resultados das propriedades físicas obtidas nos testes, enquanto que a tabela 3 apresenta o resumo dos valores obtidos nos ensaios mecânicos.

Determinação das propriedades físicas e mecânicas da *Sterculia quinqueloba* proveniente da província de Cabo Delgado

4.1. Propriedades Físicas

Tabela 2. Propriedades físicas da *Sterculia quinqueloba*

Propriedade	Unidade	Nº de Corpo de Prova	Valor Mínimo, Médio e Máximo	Coefficiente de Variação (%)	Qualificação
Db	(g/cm ³)	19	0.36 < 0.56 > 0.66	3.96	Leve
Rr	(%)	19	3.48 < 4.35 > 5.29	14.59	
Rt	(%)	19	6.27 < 8.69 > 9.97	5.18	
Rv	(%)	19	10.75 < 12.45 > 14.47	2.72	Média
Fa	-	19	1.31 < 1.89 > 2.26	11.56	Médio

Onde: Db – Densidade Básica; Rr – Retracção radial; Rt – Retracção volumétrica; Fa – Factor de anisotropia

A diferença que se observam em relação ao número de corpo de prova utilizados nos diferentes testes físicos, explica-se pelo estrito controlo de qualidade efectuado antes de cada teste.

De modo geral, o valor médio encontrado para a densidade básica foi de 0.56 g/cm³. Deste modo a espécie classifica-se como leve, segundo Bunster (1995) para valores encontrados para a mesma densidade.

O valor médio encontrado para densidade básica é aproximado com o da literatura. O valor médio encontrado por Bunster (1995) nos seus ensaios para a densidade básica foi de 0.50 g/cm³ e 0.54 g/cm³ para o Relatório da MADEBRAS (1982) para a mesma espécie, assim, não variado muito do valor encontrado nos testes realizados.

O valor médio encontrado para retracção radial foi de 4.35% para a média. Para a retracção tangencial o valor encontrado para média foi de 8.69 %. Para a retracção volumétrica o valor encontrado para a média foi de 13.28% e uma amplitude de 10.75 % a 14.47 %.

Determinação das propriedades físicas e mecânicas da *Sterculia quinqueloba* proveniente da província de Cabo Delgado

O valor médio encontrado para retracção radial, tangencial e volumétrica são aproximados com os da literatura. O valor médio encontrado por Bunster (1995) nos seus ensaios para a retracção volumétrica foi de 12.3% e o Relatório da MADEBRAS (1982) encontrou os valores 2.34%, 8.08%, 4.46% para as retracções volumétrica, tangencial e radial respectivamente, não variado muito do valor encontrado nos testes realizados.

Segundo Júnior e Garcia (2004), quanto menor a retracção volumétrica melhor é a madeira para marcenaria, em função da menor movimentação dimensional.

Para o factor anisotrópico ($Fa=Rt/Rr$), o valor encontrado foi de 1.89 para a média. Valores próximos a estes para *Sterculia quinqueloba* foram encontrados por diversos pesquisadores (Relatório da MADEBRAS, 1982 $Fa=1.7$), com estes valores a espécie é classificada como média (IPT, 1985).

Segundo KOLLMANN & CÔTÉ, um factor de anisotropia médio pode ser considerada como de boa qualidade do ponto de vista da estabilidade dimensional. Podendo ser recomendada para o fabrico de estantes, mesas, armários, enfim usos que permitam pequenos empenamentos, é necessário avaliar outros factores como por exemplo a estética, densidade e ao ataque aos fungos e insectos.

Determinação das propriedades físicas e mecânicas da *Sterculia quinqueloba* proveniente da província de Cabo Delgado

4.2. Propriedades Mecânicas

Tabela 3. Propriedades Mecânicas da *Sterculia quinqueloba*

Propriedade	Unidade	Nº de corpos de Prova	Valor Mínimo, Médio e Máximo	Coefficiente de Variação (%)	Qualificação
Flexão Estática					
MOR	kg/cm ²	25	643 <967 > 1339	20.51	Pouco
MOE	kg/cm ²	25	54666 < 83166 > 115086	22.71	resistente

Onde: MOR – Módulo de Ruptura, Módulo de Elasticidade.

O valor de coeficiente de variação encontrado foi de 20.51% para os resultados de propriedades mecânicas, e estão acima da margem de aceitação estabelecida, segundo a MADEBRAS (1982), o que mostra uma diferença nos corpos de prova utilizados no ensaio.

Os valores médios dos ensaios de flexão estática (MOR e MOE), obtidos para espécie *Sterculia quinqueloba*, são apresentados na tabela 3. Pode-se observar que os valores médios de MOR são de 967 kg/cm² e oscilam entre 643 kg/cm² e 1339 kg/cm², e os de MOE são de 83166 kg/cm² e oscilam entre 54666 kg/cm e 115086, classificando a madeira como pouco resistente, segundo Bunster (1995) para valores encontrados para a mesma propriedade.

Os valores médios encontrados apresentam grandes diferenças em relação a alguns casos reportados para a mesma espécie. Relatório de MADEBRAS (1982), encontrou para o valor de MOR e MOE iguais a 417 kg/cm² e 87537 kg/cm² respectivamente e Bunster (1995) apresenta para a mesma espécie um valor de MOR igual a 581 Kg/cm².

Determinação das propriedades físicas e mecânicas da *Sterculia quinqueloba* proveniente da província de Cabo Delgado

Segundo Moreira (1999), as variações observadas nos resultados dos testes efectuados em laboratório decorrem por causa de diferentes factores, atribuídos as condições do ensaio, efectuado (método empregado), Bunster (1995) na sua publicação não apresenta a metodologia utilizada, devido a essa falta de informação é impossível uma comparação. Outro factor trata-se da influências internas (características e propriedades internas da madeira); existe a possibilidade de retirada de corpo de prova de sítios diferentes na árvore, podendo assim ser a causa das variações apresentadas nas propriedades mecânicas com outros autores. Influência do lugar de crescimento é entretanto o outro factor que pode ter determinado a diferença dos resultados porque o Relatório da MADEBRAS (1982), fez a recolha das suas amostra na província do Niassa, enquanto que para os ensaios realizados foram utilizados amostras provenientes de Cabo Delgado que apresenta um clima e solos diferentes.

V. CONCLUSÃO

Em função dos resultados obtidos e de algumas características observadas durante a realização do experimento, as seguintes conclusões podem ser apresentadas:

- A densidade básica determinada nos testes foi de 0.56 kg/cm^3 , classificando a madeira como leve.
- O factor Anisotrópico determinada nos testes foi de 1.89, classificando a madeira média, isto é, apresenta boa estabilidade dimensional.
- As Retracções radial, tangencial e volumétrica determinadas nos testes foram de 4.35, 8.69, 12.45 % respectivamente, classificando a madeira como média.
- O Módulo de Elasticidade (MOE) e Módulo de Ruptura (MOR) determinados nos ensaios foram de 83166 e 967 kg/cm^2 respectivamente, classificando a madeira como pouco resistente.

A madeira da espécie *Sterculia quinqueloba* com as características tecnológicas apresentadas acima, mostra um grande potencial na fabricação de móveis, construção leve no interior e marcenaria.

VI. RECOMENDAÇÕES

É de interesse estudar a respostas desta espécie as técnicas de tratamento usando preservantes de modo que a espécie possa ser utilizada externamente na construção.

Implementar paulatinamente o uso significativo da madeira da Metonha na construção interior e na produção de móveis, começando por exemplo pela fabricação de mobiliários escolares, familiarizando deste modo os utilizadores, da aptidão desta madeira para o caso proposto.

No trabalho presente, observou-se para as propriedades mecânicas, um coeficientes de variação acima do limite recomendado. É importante garantir que o número de amostras usada esteja em conformidade com a norma para que se possa comparar os valores obtidos.

Seria conveniente ampliar o estudo para a mesma espécie crescendo em outras regiões do país, de modo a obter um valor médio mais geral e representativo para a espécie em Moçambique.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ABPM - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRESERVADORES DE MADEIRA. 1985. Madeira: o que é e como pode ser processada e utilizada – Nº 36. São Paulo. 188p.
- BODIG, J. & JAYNE, B. (1982). Mechanics of Wood and Wood composites. Van Nostrand Reinhold Company. New York. 712p.
- BUNSTER, J. H. (1995). 52 Madeiras de Moçambique. Catalogo Tecnológico. Departamento de Engenharia Florestal, UEM. Maputo.80p.
- CARDOSO, J. G. A. (1964). Madeiras de Moçambique. *Sterculia quinqueloba*. Direcção dos serviços de agricultura e florestas. Maputo. 17p.
- COPANT - COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS (1972). Maderas. Método de determinación de la peso aparente. 461. 3p.
- COPANT - COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS (1972). Maderas. Método de determinación de la contracción. COPANT 462. 5p.
- COPANT - COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS (1972). Maderas. Selección de muestras. 458. 11p.
- BRITO, E. O. (1984). A viabilidade de utilização de Pinus para a produção de chapas de composição estrutural "waferboard". Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 104p.

Determinação das propriedades físicas e mecânicas da *Sterculia quinqueloba* proveniente da província de Cabo Delgado

DE REZENDE, M. A., SAGLIETTI, J. R. C. & GUERRINI, I. A. (1995). Estudo das interrelações entre massa específica, retratibilidade e humidade da madeira do *Pinus caribaea* var. *hondurensis* aos 8 anos de idade. Trabalho de pesquisa . Brasil.10p.

DIVISÃO DE MADEIRA – IPT. (1985). Madeira: O que é e como pode ser processada e utilizada. São Paulo, Boletim ABPM nº 36, 189p.

EUCALIPTO (2003). Pesquisa amplia usos. Revista da Madeira, Edição especial 138p.

EVANS, J.L.W.; SENFT, J. F. & GREEN, D. W. (2000) Juvenile wood effect in red alder: analysis of physical and mechanical data to delineate juvenile and mature wood zones. Forest Products Journal, v.50, n.7/8, 75-87p.

FPL - FOREST PRODUCTS LABORATORY. (1987). Wood handbook: Wood as an engineering material. Washington: U.S.D.A.. 466p.

GALVÃO, A.P.M. & JANKOWSKY, I.P. (1985). Secagem racional da madeira. São Paulo. 111p.

GOMES, O.F. (1997). Estudo das ligações cavilhadas impregnadas com resinas estirênicas empregadas em estruturas de madeira. São Carlos: EESC/USP, 143p. Tese Doutorado.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICAS. (1985). Madeira: o que é e como pode ser processada e utilizada. Boletim ABPM. Nº 36. 189p.

JUNIOR, LAERTE S. & GARCIAS, JOSE N..(2004). Determinação das propriedades mecânicas de *Eucalyptus urophylla*. Scientia Forestalis. Nº65. 120-129p.

Determinação das propriedades físicas e mecânicas da *Sterculia quinqueloba* proveniente da província de Cabo Delgado

KEYLWERTH, R. (1943). Das Schwinden und seine Beziehungen zu Rohwichte und Arfbau des Holzes. Tesis. T. H. Berlin.

KOLLMANN, F. & COTE., W. (1984) Principles of wood science and technology. New York: Springer-Verlag, Berlin Huldberg. 592p.

LEI de FLORESTA e FAUNA BRAVIA. Conselho de Ministros Decreto N ° 12/ 2002 De 6 de Junho REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE, REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE, 55p.

MORESCHI, J. C.(1999). Propriedades Da Madeira. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR, , 168p.

MORESCHI, J.C. (1975). Relação água madeira e sua secagem. Curitiba: UFPR, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Sector de Ciências Agrárias. 91p.

Muller, P. H. (1980). Mechanical stress-grading of structural timber. C.S.I.R. Timber Unit. Pretoria

NEVES, H. D. S. (1997). Propriedade básicas da madeira de *Pinus patula* Scheid & Deppe de Rotanda e sua aptidão para marcenaria, FAEF, UEM.

NORMA PORTUGUESA. (1961). Madeiras. Ensaio de flexão estática. Série B – secção 5. NP E – 74. Ministério de Obras Públicas. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. 6p.

PANSHINA. J. & ZEEUW, C. (1980) Text book of wood technology. Structure, identification, properties and uses of the commercial woods of the U. S. and Canada. 722p.

Determinação das propriedades físicas e mecânicas da *Sterculia quinqueloba* proveniente da
provincia de Cabo Delgado

- PFEIL, W. (1985), Estrutura de Madeiras. Livros Tecnicos e Cientificos. Ed. SA; Rio de Janeiro – 296p.
- SPURR, S. H. & HYVARINEN, M. J. (1954). Wood fiber length as related to position in tree and growth. Bot. Rev. V. 20, 561-575p.
- TAQUIDIR, A. M. (1994). Classificação e tensões admissíveis da madeira serradas de *P. patula* provenientes de Penhalonga - Manica, FAEF, UEM.
- TIMELL, T. E. (1986). Compression wood in gymnosperm. Springer verlag. New York. 706p.
- TSOUMIS, GEORGE (1991). Science and Technology of Wood (Struture, Properties, Utilization).USA.491p.
- USDA - .FOREST PRODUCTS LABORATORY. (1974). Wood hand-book: Wood as an engineering material. Madison: FPL. 1vol.
- USDA (987). Wood hand-book: Wood as an engineering material. Agriculture Handbook. 72p.
- WYK, B. V. & WYK, P. V. (1997). Field Guide To Trees Of Southern Africa. Cape Town. 525p.
- ZOBEL, B. & TABERT, J. (1984): Applied Forest Tree Improvement. 584 p.

ANEXO I

1. Tabela com os dados das propriedades física dos ensaios

Corpo de Prova	Face Radial Verde (cm)	Face tangencial Verde (cm)	Peso Verde (g)	Volume Verde (cm ³)	Densidade Verde (g/cm ³)	Face Radial (cm)	Face Tangencial (cm)	Peso Anidro (g)	Volume Anidro (cm ³)
1	2,63	2,62	61,02	69,01	0,88	2,52	2,40	31,30	60,51
2	2,63	2,61	62,30	68,64	0,91	2,52	2,39	32,39	60,23
3	2,68	2,67	52,00	71,65	0,73	2,59	2,46	32,00	63,71
4	2,62	2,62	58,50	68,70	0,85	2,50	2,38	35,20	59,60
5	2,61	2,61	52,67	68,12	0,77	2,49	2,39	31,13	59,51
1	2,63	2,62	59,30	68,91	0,86	2,50	2,46	30,86	61,50
2	2,58	2,56	60,31	65,95	0,91	2,46	2,38	31,78	58,55
3	2,66	2,65	59,00	70,61	0,84	2,55	2,43	25,26	61,97
4	2,62	2,61	60,48	68,41	0,88	2,50	2,35	30,73	58,75
5	2,74	2,72	59,40	74,48	0,80	2,61	2,47	31,54	64,47
1	2,64	2,63	68,20	69,37	0,98	2,52	2,42	32,06	61,00
2	2,58	2,57	66,96	66,19	1,01	2,45	2,36	32,13	57,82
3	2,58	2,56	65,48	66,10	0,99	2,49	2,36	37,79	58,76
4	2,61	2,58	59,10	67,33	0,88	2,48	2,38	36,23	59,02
5	2,56	2,54	57,90	64,96	0,89	2,43	2,30	42,46	55,93
1	2,54	2,53	58,25	64,33	0,91	2,41	2,31	42,28	55,67
2	2,54	2,54	59,40	64,61	0,92	2,42	2,30	41,67	55,68
3	2,54	2,53	57,80	64,21	0,90	2,41	2,30	41,14	55,41
4	2,56	2,52	57,10	64,57	0,88	2,42	2,28	41,64	55,23
5	2,57	2,56	57,89	65,83	0,88	2,46	2,34	35,11	57,56
1	2,60	2,59	52,70	67,42	0,78	2,48	2,38	39,97	59,02
2	2,53	2,52	57,50	63,76	0,90	2,43	2,30	35,79	55,89
3	2,57	2,57	50,54	65,96	0,77	2,46	2,33	35,62	57,32
4	2,53	2,52	52,20	63,80	0,82	2,42	2,30	35,40	55,66
Media	2,60	2,55	53,24	65,23	0,82	2,45	2,33	36,70	56,97
Desvio	0,05	0,03	2,99	1,78	0,06	0,03	0,04	2,19	1,55
CV	2,01	1,37	5,62	2,73	7,42	1,13	1,62	5,97	2,72
Max	2,74	2,72	68,20	74,48	1,01	2,61	2,47	42,46	64,47
Min	2,53	2,52	50,54	63,76	0,73	2,41	2,28	25,26	55,23

Continuação da tabela 1

Corpo de Prova	Densidade Anidro (g/cm ³)	Humidade (%)	Densidade Basica (g/cm ³)	Retracao Radial (Rr)	Retracao Tangencial (Rt)	Retracao Volumetrica (Rv)	Factor Anisotropico (Fa)
1	0,52	94,95	0,45	4,28	8,40	12,32	1,96
2	0,54	92,34	0,47	4,34	8,28	12,26	1,91
3	0,50	62,50	0,45	3,48	7,87	11,07	2,26
4	0,59	66,19	0,51	4,60	9,07	13,25	1,97
5	0,52	69,19	0,46	4,67	8,36	12,64	1,79
1	0,50	92,16	0,45	4,77	6,27	10,75	1,31
2	0,54	89,77	0,48	4,50	7,03	11,22	1,56
3	0,41	133,57	0,36	4,30	8,30	12,25	1,93
4	0,52	96,81	0,45	4,60	9,97	14,12	2,17
5	0,49	88,33	0,42	4,69	9,19	13,45	1,96
1	0,53	112,73	0,46	4,44	7,98	12,07	1,80
2	0,56	108,40	0,49	4,87	8,17	12,64	1,68
3	0,64	73,27	0,57	3,56	7,81	11,10	2,19
4	0,61	63,12	0,54	4,86	7,86	12,34	1,62
5	0,76	36,36	0,65	5,06	9,31	13,89	1,84
1	0,76	37,77	0,66	5,22	8,70	13,46	1,67
2	0,75	42,55	0,64	4,76	9,52	13,83	2,00
3	0,74	40,49	0,64	4,96	9,20	13,70	1,86
4	0,75	37,13	0,64	5,29	9,69	14,47	1,83
5	0,61	64,88	0,53	4,33	8,59	12,55	1,98
1	0,68	31,85	0,59	4,73	8,11	12,45	1,72
2	0,64	60,66	0,56	3,95	8,73	12,34	2,21
3	0,62	41,89	0,54	4,30	9,20	13,11	2,14
4	0,64	47,46	0,55	4,41	8,73	12,76	1,98
Media	0,64	45,46	0,56	4,35	8,69	12,66	1,89
Desvio	0,02	12,01	0,02	0,32	0,45	0,34	0,22
CV	3,68	26,43	3,96	7,33	5,14	2,72	11,56
Max	0,76	133,57	0,66	5,29	9,97	14,47	2,26
Min	0,41	31,85	0,36	3,48	6,27	10,75	1,31

ANEXO II

1. Tabelas com as propriedades mecânicas

corpo de prova	P _{máx} (N)	P _{lp} (N)	Flecha (cm)	MOR (N/cm ²)	MOR (kgf/cm ²)	MOE (N/cm ²)	MOE (kgf/cm ²)	MOE (kgf/mm ²)
1	1350	1000	0,5	7088	723	686000	69972	6997
2	1450	1000	0,55	7613	776	623636	63611	6361
3	1200	750	0,47	6300	643	547340	55829	5583
4	1740	1000	0,49	9135	932	700000	71400	7140
5	1500	1000	0,57	7875	803	601754	61379	6138
1	1650	1000	0,5	8663	884	686000	69972	6997
2	1400	750	0,48	7350	750	535938	54666	5467
3	1750	1250	0,6	9188	937	714583	72888	7289
4	1900	1250	0,49	9975	1017	875000	89250	8925
5	1900	1000	0,39	9975	1017	879487	89708	8971
1	2500	1250	0,38	13125	1339	1128289	115086	11509
2	2100	1500	0,5	11025	1125	1029000	104958	10496
3	2300	1250	0,39	12075	1232	1099359	112135	11213
4	2250	1500	0,47	11813	1205	1094681	111657	11166
5	2250	1500	0,55	11813	1205	935455	95416	9542
1	1950	1500	0,53	10238	1044	970755	99017	9902
2	1850	1250	0,44	9713	991	974432	99392	9939
3	2300	1500	0,56	12075	1232	918750	93713	9371
4	2150	1500	0,56	11288	1151	918750	93713	9371
5	1450	1250	0,5	7613	776	857500	87465	8747
1	1700	1000	0,5	8925	910	686000	69972	6997
2	1450	1000	0,52	7613	776	659615	67281	6728
3	1200	750	0,42	6300	643	612500	62475	6248
4	2050	1500	0,52	10763	1098	989423	100921	10092
5	1800	1000	0,52	9450	964	659615	67281	6728
Media	1806	1170	0,496	9479	967	815355	83166	8317
Desvio	370	257	0	1945	198	185165	18887	1889
CV	21	22	12	21	21	23	23	23
Min	1200	750	0,38	6300	643	535938	54666	5467
Max	2500	1500	0,6	13125	1339	1128289	115086	11509

ANEXO III

Grafico de Flexão Estática

