



FACULDADE DE AGRONOMIA E ENGENHARIA FLORESTAL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
LICENCIATURA EM ENGENHARIA FLORESTAL

Projecto final

**Resistência ao Arrancamento de Pregos em Madeira de *Brachystegia*
spiciformis e *Julbernardia globiflora*.**

Autor

Evidelto Agostinho Mudumela

Supervisor:

Prof. Doutor Andrade Fernando Egas

Maputo, Março de 2025



FACULDADE DE AGRONOMIA E ENGENHARIA FLORESTAL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**Resistência ao Arrancamento de Pregos em Madeira de *Brachystegia*
spiciformis Benth e *Julbernardia globiflora* (Benth) Troupin.**

Por

Evidelto Agostinho Mudumela

Projecto Final apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal da Universidade Eduardo Mondlane, como parte das exigências para obtenção do grau de licenciatura em Engenharia Florestal.

Supervisor

Prof. Doutor Andrade Fernando Egas

DECLARAÇÃO DE HONRA

Declaro por minha honra que este trabalho de culminação do curso de Licenciatura em Engenharia Florestal é da minha autoria e resulta da minha investigação. Esta é a primeira vez que submeto para obter um grau académico numa Instituição Educacional. Assim sendo, toda a informação que não é da minha autoria encontram-se citada aos respectivos autores. A autenticidade dos resultados desta monografia tem como testemunha o Supervisor.

O Declarante:

(Evidelto Agostinho Mudumela)

Maputo, Março de 2025

Confirmo que o trabalho reportado nesta monografia foi realizado pelo candidato sob minha supervisão, pertencendo ao Departamento de Engenharia Florestal da Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal na Universidade Eduardo Mondlane.

O Supervisor:

(Prof. Doutor Andrade Fernando Egas)

Maputo, Março de 2025

DEDICATÓRIA

Aos meus Pais: Agostinho Mudumela e Gilda Daniel Zombola, motivos de minha existência, pelo amor, educação, suporte, conselhos e muita paciência.

Ao casal: Elpidio Agostinho Mudumela e Elsa Mudumela

Aos meus irmãos: Edson Agostinho Mudumela, Nelsonia A. Mudumela, Dercia A. Mudumela, Marcia A. Mudumela e Etivaldo A. Mudumela.

Aos meus sobrinhos: Iben, Tânia, Bryan, Thaynara e Caleb, que este trabalho sirva de inspiração.

Aos meus colegas que desistiram ao longo do percurso.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer a Deus, pelo dom da vida.

Agradecer ao meu supervisor Prof. Doutor Andrade Fernando Egas, pela oportunidade cedida para realização do presente trabalho, pela disponibilidade imediata, incansável paciência que o caracteriza e pelos valores e contribuições valiosas transmitidas durante a realização do trabalho.

Aos professores do curso de licenciatura em Engenharia Florestal da Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal e da Universidade Eduardo Mondlane no geral, que contribuíram para minha formação, agradeço.

Ao Doutor Eng. Narciso Bila pelo ensinamento operativo da máquina de ensaios.

Ao senhor Paulo Timóteo, pelo apoio durante o trabalho no laboratório e ao senhor Eduardo Mariquel pelo apoio prestado durante a produção dos corpos de prova.

Aos meus amigos (irmãos da FAEF): Helio Felix, Kelven de Manuel, Edson Valentim, Angelino dos Santos Júnior, Facitilha Mbenzane, Geusia Mazuze, Yara Ubisse, Ângela Muthemba, Djanina Mendes, Julieta Bastos, Geórgia Siueia, Fermino João, Belmiro Nunes e Adilson Marcio pelos momentos indescritíveis que junto passamos durante a formação, o meu muito obrigado.

Aos colegas do curso dos anos 2017, 2018 e 2019: Odio e Hercílio Macamo, Nascir Morreira, Sandro Rafael, Salima Tembe, Edson Ngudela, Leonel Bruno, Assane Chaputo, Virgilio Bahule, Ronaldo Hile, Djulian Djuds, Feliciano Tsaninga, Milton da Joana, Kelven Sozinho, Cleusia Cardina, Alberto Chambela, Lucia Come, Leia Muhala, Taimo Taimo, Filomena Massolonga e Mafalda Mangué

Aos meus amigos: Nilson Uique, Michael Machava, Yolanda Timane e mais especial Ivódia Cláudio Nhone.

A todos que de certa forma contribuíram durante a minha formação e que não foram aqui mencionados, o meu caloroso obrigado!

RESUMO

O objectivo deste estudo foi de avaliar a resistência ao arrancamento de pregos em madeira das messassas: *Brachystegia spiciformis* e *Julbernardia globiflora* e o pinho: *Pinus taeda* para fins estruturais. Os procedimentos da execução dos testes foram feitos com base na norma ASTM D 1761-2012. Foram usados 20 corpos de prova por espécie com dimensões de 5x5x15cm onde 10 foram submetidas a inserção de pregos de 3,6mm de diâmetro e outras 10 a pregos de 4,7mm de diâmetro. As amostras foram submetidas a aclimatização a uma temperatura de 20°C e uma humidade de 65% até atingirem uma humidade de 14±1%. Em seguida foram submetidas a inserção de dois pregos em cada plano anatómico e, a seguir a teste de arrancamento de pregos numa máquina universal de ensaios de resistência mecânica de materiais. Os resultados indicam que os valores de resistência ao arrancamento de pregos variaram de 1053,46 a 4406,78N para as messassas e de 1315,00 a 2566 para o pinho, em função do diâmetro do prego e do plano anatómico considerado. Para o prego de 3,6mm *Pinus taeda* apresentou maior resistência ao arrancamento em relação a *Brachystegia spiciformis*. Quanto ao prego de 4,7mm, não foram verificadas diferenças estatisticamente significativas entre *Brachystegia spiciformis* e *Pinus taeda*. Por sua vez *Julbernardia globiflora* apresentou valores de resistência ao arrancamento com diferenças estatisticamente significativas e maiores que os de *Pinus taeda*. Não foram verificadas diferenças estatisticamente significativas entre os planos tangencial e radial; apenas o plano transversal mostrou diferenças estatisticamente significativas em todas as espécies assim como diâmetros do prego. O trabalho conclui que das três espécies a *J. globiflora* apresenta maior potencial para aplicação em união com pregos onde se exija maior resistência ao arrancamento de pregos como é o caso de estruturas de tecto de madeira em infra-estruturas resilientes aos efeitos das mudanças climáticas.

Palavras-chave: Construções de madeira; pinos metálicos; diâmetro do prego; densidade da madeira; *Brachystegia spiciformis*; *Julbernardia globiflora*.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the withdrawal resistance of nails in wood from *Brachystegia spiciformis*, *Julbernardia globiflora*, and *Pinus taeda*. The testing procedures were based on the ASTM D 1761-2012 standard. A total of 20 specimens per species, size 5x5x15cm, were used, being 10 specimens subjected to test with nails of 3.6mm diameter, and the other 10 to nails of 4.7mm. The samples were acclimatized at a temperature of 20°C and a humidity of 65% up to 14±1% of moisture content. Subsequently, two nails were inserted into each anatomical plane, followed by a withdrawal test of the nails on a universal testing machine. The results indicate that the withdrawal resistance values of the nails varied from 1053.46 to 4406.78N for the messassas and from 1315.00 to 2566N for the pine, depending on the nail diameter and the anatomical plane. For the 3.6 mm nail, *Pinus taeda* showed greater withdrawal resistance than *Brachystegia spiciformis*. For the 4.7mm nail, no significant differences were found between *Brachystegia spiciformis* and *Pinus taeda*. On the other hand, *Julbernardia globiflora* exhibited significantly higher withdrawal resistance values than *Pinus taeda*. No significant differences were observed between the tangential and radial planes, and the transverse plane showed significantly low resistance when compared to the previous plane across all species as well as nail diameters. The study concludes that among the three species, *J. globiflora* has the greatest potential for applications requiring higher withdrawal resistance of nails, such as in wooden roof structures for infrastructures resilient to the effects of climate change.

Keywords: Wooden structure; metal pins; nail diameter; wood density; *Brachystegia spiciformis*; *Julbernardia globiflora*.

Índice

DECLARAÇÃO DE HONRA	i
DEDICATÓRIA.....	ii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
1. Introdução.....	1
1.1. Problema de estudo.....	2
1.2. Objectivos	3
1.2.1. Objectivo Geral.....	3
1.2.2. Objectivos específicos	3
2. Revisão bibliográfica.....	4
2.1. Uso estrutural da madeira	4
2.2. Propriedades da madeira	4
2.2.1. Resistência mecânica ao arrancamento de pregos	5
2.2.2. Factores que influenciam na resistência ao arrancamento de pregos	5
2.2.3. Resistência a compressão	10
2.2.4. Resistência à flexão	11
2.3. Ligações em estruturas de madeira.....	12
2.3.1. Tipo de ligações.....	13
<i>Uniões por pregos</i>	<i>18</i>
2.4. Descrição das espécies	21
2.4.1. <i>Brachystegia spiciformis</i>	21
2.4.2. <i>Julbernardia globiflora</i>	22
2.4.3. <i>Pinus Taeda</i>	22
3. Materiais e métodos	24
3.1. Proveniência do material.....	24
3.2. Obtenção das amostras no campo	25
3.3. Preparação e acondicionamento dos corpos de prova.....	26
3.4. Determinação da densidade básica.....	27

3.5. Teste de arrancamento de pregos	28
3.5.1. Inserção dos pregos nos corpos de prova	28
3.5.2. Procedimentos do teste de resistência ao arrancamento de prego	31
3.6. Avaliação teórica da resistência ao arrancamento do prego	32
3.7. Análise de dados	33
4. Resultados e discussão	34
4.1. Densidade básica e aparente	34
4.2. Resistência mecânica ao arrancamento de pregos	35
4.2.1. Comportamento da madeira e dos pregos no processo da pregagem	35
4.2.2. Valores de resistência mecânica ao arrancamento do prego	39
4.3. Avaliação teórica da resistência ao arrancamento de pregos	44
5. Conclusões e Recomendações	46
5.1. Conclusões	46
6. Referências bibliográficas	47
7. Anexos	57
7.1. Máquina universal de ensaios mecânicos	57
7.2. Densidade básica pelo método da balança	57
7.3. Propriedades físicas avaliadas	58
7.4. Resistência ao arrancamento do prego, 4.7mm na madeira de pinho	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1, Tipos de pregos e sua devida descrição.....	20
Tabela 2. Valores médios e coeficientes de variação da densidade básica das espécies Pinus taeda, Brachystegia spiciformis e Julbernardia globiflora.	34
Tabela 3. Densidade básica das espécies estudadas o encontram se dentro dos respectivos intervalos btidos em outros estudos (g/cm ³).	35
Tabela 4. Situações observadas na pregagem das amostras e medidas alternativas.....	36
Tabela 5. Resistência ao arrancamento de pregos de três espécies em função do plano anatómico (N).	40
Tabela 6. Comparação dos valores de resistência ao arrancamento de pregos observados neste estudo e de outros autores.....	41
Tabela 7. comparação da resistência ao arrancamento entre pregos de diferentes diâmetros.	44

LISTA DE FIGURAS

Figure 1. Ensaio mecânico de resistência à compressão das fibras: a) compressão paralela e b) compressão perpendicular.	11
Figure 2. Teste de resistência a flexão estática na madeira.	12
Figure 3. Ligações tradicionais por entalhe.	13
Figure 4. Ligações tradicionais em cruzamentos.	14
Figure 5. Empalmes: a) empalmes à compressão e b) empalmes à tração.	14
Figure 6. Ligação colada. finger-joint.	15
Figure 7. Tipos de pregos mais usados na construção civil	19
Figure 8. Mapa da localização da concessão LevasFlor.	24
<i>Figura 9. Mapa da localização da floresta de Nhamacari.</i>	<i>25</i>
Figura 10. Esquema de transformação de torretes em pranchas.	26
Figura 11. Determinação da densidade básica.	28
Figure 12. Esboço de corpo de prova mostrando as dimensões e pontos de inserção dos pregos em cada plano de corte.	29
Figure 13. <i>Imagem ilustrativa do processo da pré-furação na madeira.</i>	<i>30</i>
Figure 14. Pregos usados nos testes de resistência ao arrancamento. Prego de 3,6mm à esquerda e prego de 4,7mm à direita.	31
Figura 15. Ilustração da fixação da amostra de madeira na máquina de ensaios para retirada do prego nos planos radial ou tangencial (A) e transversal (B).	32
Figure 16. Rachadura no plano radial e tangencial (a e b), causada pelo prego durante a sua inserção e pregos dobrados na madeira de messassa encarnada (c e d).	38

Figura 17. Gráfico comparativo dos resultados médios de resistência ao arrancamento do prego estimada e observada.....45

LISTA DE ABREVIATURAS

%	Porcentagem
ANOVA	Análise de variâncias
ASTM	American society for testing and materials
CEAGRE	Centro de estudos de agricultura e gestão de recursos naturais
CEFLOMA	Centro Florestal de Machipanda
FSDIM	Floresta Semi-Decídua incluindo o Miombo
g/cm ³	Grama por centímetro cúbico
IIAM	Instituto de Investigação Agraria de Moçambique
ISO	International organization for standardization
g/cm ³	Grama por centímetros cúbicos
MITADER	Ministério de Terra, Ambiente e Desenvolvimento Rural
MINEDH	Ministério da Educação e Desenvolvimento Humano
MAE	Ministério da Administração Estatal
Mpa	Mega pascais
°C	Graus celsius
PMA	Precipitação média anual
PQG	Plano Quinquenal do Governo
PDNA	Avaliação das Necessidades Pós Desastres
TMA	Temperatura média anual

1. Introdução

Moçambique é um país que possui uma vasta área de cobertura florestal estimado em 31,6 milhões de hectares, cerca de 38% da área total do território nacional (Magalhães, 2018). Segundo o mesmo autor, a Floresta Semi-Decídua incluindo o Miombo (FSDIM) ocupa cerca de 65% da área florestal, onde as espécies comumente conhecidas como messassas com destaque para *Brachystegia spiciformis* e *Julbernardia globiflora* são as predominantes

Sitoe *at al.* (2013), citam que apesar da lista de espécies de madeiras comerciais reconhecidas pela legislação florestal de Moçambique ser de cerca de 118 espécies, menos de dez espécies são efectivamente exploradas para fins comerciais, entre elas a umbila (*Pterocarpus angolensis*), panga-panga (*Millettia stuhlmannii*), chanfuta (*Azelia quanzensis*), pau-preto (*Dalbergia melanoxylon*) e mondzo (*Combretum imberbe*). As messassas, ainda que façam parte do tipo florestal com maior volume total no país, são subutilizadas.

Espécies do grupo das messassas com destaque para *Brachystegia spiciformis* e *Julbernardia globiflora* com corte anual admissível de 427 956 m³/ano e 171 340 m³/ano respectivamente (Magalhães, 2018), têm sido reportadas como as únicas que poderiam justificar investimentos em escala maior na indústria florestal (Chitara, 2003). Porém, segundo o Ministério da Terra e Ambiente (2022), a exploração dessas espécies situa-se abaixo dos 7% do volume total licenciado, onde as principais espécies comercializadas especificamente, umbila, jambirre e chanfuta, em 2021 ocuparam respectivamente 20%, 6% e 25% do volume total licenciado. Tendo em conta o seu alto volume de corte anual admissível, a madeira de messassas apresenta potencial para uso em estruturas de cobertura.

A madeira das messassas vem sendo destacada nos últimos anos por possuir potencial para o desenvolvimento da indústria da madeira devido à sua grande disponibilidade. De acordo com Magalhães (2018), 13,7% (110 220 000 m³) do volume comercial de madeira nativa do país é representado pela espécie *Brachystégia spiciformis* e 6,76% (54 114 000 m³) por *Julbernardia globiflora*.

O governo de Moçambique no seu Plano Quinquenal 2020-2024 projectou a construção de 3 355 salas de aulas para o ensino primário e 30 hospitais distritais em todo o país (PQG, 2020). Por outro lado, de acordo com HOLZ (2018), estima-se que mais de 6 milhões de unidades de habitação adicionais serão necessárias até 2050, das quais 3 741 643 em áreas

urbanas e 2 294 998 em áreas rurais, como resultado do crescimento da população. Nesses tipos de infraestruturas, a madeira tem sido um dos principais materiais de construção.

Para além de constituir uma solução de estruturas baratas e resilientes, o uso de madeira em construções representa uma das soluções à necessidade por sustentabilidade e diminuição da degradação ambiental causada pela indústria de construção civil, além de ser um material que possui ótimas propriedades mecânicas, e uma agradável estética em termos arquitetónicos (Maia, 2016 e Silva, 2017).

1.1. Problema de estudo

Moçambique, devido à sua localização geográfica, é um país vulnerável a desastres naturais como os ciclones, que afectam os diversos sectores de actividade, provocando grandes danos, como destruição de infra-estruturas sociais dentre elas as infra-estruturas escolares e hospitalares. Na maioria dos casos, as coberturas, é que sofrem grandes danos, pois, é a parte da construção mais vulnerável à acção do vento (MINEDH, 2014; MAE, 2007). Em forma de exemplo, a publicação, *Moçambique Ciclone Idai PDNA Avaliação das Necessidades Pós Desastres* (2019), cita que durante a passagem do ciclone Idai, um total de 94 unidades sanitárias e 14% das infraestruturas de saúde nas províncias afectadas sofreram vários graus de danos com destaque para a cobertura.

Nas construções, particularmente de infraestruturas escolares e hospitalares tem sido usada com frequência a madeira de pinho em estruturas de tecto. Os ciclones Idae, Kenneth e Eloise que assolaram o país nos últimos 5 anos mostraram a vulnerabilidade das estruturas de madeira para cobertura onde em várias situações a força do vento arrancou os elementos de ligação, maioritariamente constituídas de pregos, com as respectivas chapas de cobertura.

Com o exposto acima, há uma necessidade de testar madeiras alternativas que possam garantir maior resistência das coberturas de madeira em situações de eventos climáticos extremos. De acordo com Aytekin (2008) e Rammer (2021), a resistência de uniões madeira – elemento de ligação aumenta com o incremento da densidade da madeira. A madeira das messassas é candidata aos ensaios para fins de estrutura de tecto por apresentar por um lado densidade básica média a alta, e por outro lado grande disponibilidade. Assim, há necessidade de testar experimentalmente a resistência mecânica das uniões prego-madeira de messassa e compará-la com as uniões prego-madeira de pinho, a fim de validar o seu uso em estruturas de cobertura de infra-estruturas resilientes aos efeitos das mudanças climáticas

1.2. Objectivos

1.2.1. Objectivo Geral

- Avaliar a resistência ao arrancamento de pregos em madeira de *Brachystegia spiciformis* e *Julbernardia globiflora*.

1.2.2. Objectivos específicos

- Determinar a resistência ao arrancamento de pregos em madeiras de *Brachystegia spiciformis*, *Julbernardia globiflora* e *Pinus taeda*;
- Comparar a resistência ao arrancamento de pregos entre espécies, planos de corte e diâmetro de pregos; e
- Testar a precisão de uma fórmula empírica para a determinação da resistência ao arrancamento de pregos na madeira das três espécies.

2. Revisão bibliográfica

2.1. Uso estrutural da madeira

A necessidade por sustentabilidade e diminuição da degradação ambiental causada pela indústria da construção civil suscita a necessidade do uso da madeira em estruturas por esta representar uma das mais promissoras soluções para este feito (Silva Júnior, 2017).

Nos últimos anos, a madeira vem sendo redescoberta como elemento estrutural pelos profissionais do meio produtivo estrutural e, conseqüentemente, tem requerido investigação científica para o seu uso. A evolução de recursos, como os tratamentos preservativos, a industrialização de madeiras de baixa densidade, os processos construtivos, sua resistência em uniões, dentre outros fatores, tem transformado a madeira num produto para atender às mais diversas necessidades (Oliveira, 2001).

O renascimento do interesse pela utilização da madeira como elemento estrutural ocorrido nos últimos anos deve-se a diversos factores, destacando-se especialmente as razões ambientais, tendo em vista a madeira ser um material renovável e de baixo consumo energético para sua produção e utilização (Silva Júnior, 2017).

Um dos factores importantes no desenvolvimento de estruturas de madeira é o avanço da tecnologia para a execução de ligações, considerado um dos pontos críticos no dimensionamento e execução de estruturas de madeira. A manutenção e a durabilidade da estrutura de madeira dependem, principalmente, do projeto das ligações entre os elementos (Júnior, 2017). O uso da madeira em larga escala em estruturas deve ser precedido da sua caracterização considerando as suas diferentes propriedades.

2.2. Propriedades da madeira

A madeira é um material cujas características são amplamente apreciadas pela humanidade. Tais características estão relacionadas a sua versatilidade, pois sendo um material orgânico, heterogêneo, higroscópico, anisotrópico, poroso, entre outras características que a definem, faz dela um dos principais produtos para fins industriais (Santos *et al.* 2017). A seguir descreve-se as principais propriedades da madeira que lhe conferem qualidade para uso como elemento estrutural.

2.2.1. Resistência mecânica ao arrancamento de pregos

A rigidez dos elementos de madeira depende do tipo e da espessura da madeira, assim como a forma de montagem das peças. Parafusos e pregos são amplamente utilizados como componentes de junção na construção de móveis e, como cada espécie de madeira possui suas próprias propriedades, elas também têm diferentes resistências ao arrancamento dos ligadores mecânicos (Aytekin, 2008).

Os fixadores mecânicos (pregos, parafusos, parafusos de pressão, etc.), são evidenciados como os elementos de montagem mais utilizados, juntamente com colas, na produção de produtos como móveis e elementos de decoração, casas de madeira, telhados, embarcações e itens de presente nos quais se utilizam materiais de madeira e à base de madeira, além da montagem de componentes e acessórios que formam o sistema dos produtos. Nessa situação, as características de resistência desses fixadores, de acordo com a espécie de madeira, adquirem importância (Kiliç *et al.* 2006)

O ensaio para a determinação da resistência ao arrancamento de conectores mecânicos como pregos e parafusos, é realizado para verificar o desempenho da madeira ou derivados desta, quando solicitados a esforços em situações estruturais que exijam a fixação de pregos ou parafusos (Gama *at al.* 2010). Portanto, é importante que tanto os produtores quanto os consumidores estejam cientes da melhor resistência à retirada de parafusos e pregos para as diversas espécies de madeira para melhor indicar o seu uso tecnológico.

2.2.2. Factores que influenciam na resistência ao arrancamento de pregos

Os factores que podem influenciar na resistência à retirada de um prego na madeira são inerentes a madeira assim como ao próprio prego. Segundo Oliveira (2001), Júnior (2017), EN 1995-1-1 (2004), Rosa (2018) e Battist (2017), os factores inerentes a madeira compreendem: factores anatómicos, o teor de humidade, a massa específica, o diâmetro de pré-furação e a direcção das fibras da madeira em relação ao eixo do prego. De acordo com os mesmos autores, os factores inerentes ao prego são o comprimento de penetração, tipo e o diâmetro do prego. Existem outros factores que não são ligados ao prego nem a madeira, como a velocidade de aplicação da carga durante o ensaio; as alterações nas propriedades da madeira ou do prego durante o tempo compreendido entre a sua inserção e o ensaio, bem como a temperatura do ensaio. Alguns dos factores relevantes são descritos abaixo.

Factores inerentes à madeira

Factores anatómicos

Dos factores anatómicos que influenciam na resistência ao arrancamento dos pregos inerentes a madeira, destacam se a disposição das fibras e o plano anatómico. Segundo Branco *et al.* (2011), a resistência ao arrancamento de pinos varia de acordo com os planos anatómicos e observaram que não existe uma grande diferença na resistência a retirada de pinos nos planos tangencial e radial, mas comparativamente ao plano longitudinal, a força de retirada é reduzida.

Li *et al.* (2023), citam que a resistência ao arrancamento de pregos e parafusos na madeira tende a ser maior na face tangencial em relação a radial e longitudinal devido a diferenças no lenho inicial e tardio entre as secções radial e tangencial. Explicam ainda que na secção radial o lenho inicial e tardio é conectado em série o que faz com que os pregos ao serem inseridos penetrem directamente no lenho inicial ou tardio, enquanto que na secção tangencial o lenho é conectado de forma paralela, fazendo com que os pregos e parafusos penetrem de forma continua e sucessiva gerando uma maior força de retenção do prego e consequentemente exige uma maior força de retirada.

Humidade da madeira

A madeira por ser um material higroscópico, absorve e liberta facilmente água para obter o equilíbrio com a humidade relativa do ar. Segundo Moreschi, (2005), 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; é determinada pela seguinte fórmula:

$$H_{(\%)} = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100 \quad [1]$$

Onde:

H = teor de humidade da madeira, em percentagem (%);

Ph = peso da madeira húmida (g); e

Ps = peso da madeira seca a $(103 \pm 2)^\circ\text{C}$, ou seja, a 0% de humidade (g).

O teor de humidade da madeira está relacionado com as suas propriedades mecânicas, sua trabalhabilidade, com seu poder calorífico, sua susceptibilidade ao ataque de fungos, entre outras propriedades. Na madeira, a humidade pode ser encontrada no interior das fibras e quando absorvida nas paredes das mesmas. Após a secagem, a madeira é considerada meio seca quando atinge o grau de humidade de cerca de 30%, ou seja, as paredes das células ainda estão saturadas, mas a água no seu interior evaporou (Carneiro, 2021; Moreschi, 2005).

Estudos realizados por Cockrell (1933) citado por Battisti, (2017), para determinar a resistência ao arrancamento de pregos e parafusos em madeiras de diferentes espécies, com diferentes humidade e densidade, observou que a resistência ao arrancamento diminui quando o teor de humidade aumenta.

Em outro estudo, Horvath *et al.* (2008), analisaram a influência do teor de humidade na resistência ao cisalhamento de três diferentes espécies de madeira onde concluíram que, quando o teor de humidade aumenta, a resistência ao cisalhamento diminui. Sendo a resistência ao arrancamento uma medida indirecta da resistência ao cisalhamento, pode se dizer que Cockrell (1933) assim como Horvath *et al.* (2008) concordam que a resistência ao arrancamento é reduzida quando o teor de humidade da madeira é maior. Rosa (2018), cita que a humidade influencia na resistência ao arrancamento de forma diferente segundo o seu teor de humidade: entre 0% e 8% de teor de humidade, a resistência ao arrancamento aumenta com o aumento do teor de humidade Akyildiz (2014), explica que as fibras da madeira quando húmidas não se fraturam durante a inserção do prego por estarem mais suaves do que quando secas, daí que proporcionam maior fixação do prego embora para o plano transversal não haja maior influencia da humidade. De acordo ainda com Rosa (2018), entre 12% e 20%, a resistência ao arrancamento reduz com o aumento do teor de humidade.

Densidade da madeira

Duas categorias de densidades são frequentemente consideradas na madeira: a densidade básica e densidade aparente.

A densidade básica é definida como a massa específica convencional, resultante do quociente da massa seca pelo volume saturado, onde a massa seca é obtida mantendo os corpos de prova em estufa a 103°C até atingir peso constante. O volume saturado é obtido mergulhando os corpos de prova em água até atingirem peso constante. Para a sua determinação é usada a fórmula 2 abaixo (Almeida, 1998; Carneiro, 2021).

$$\rho = \frac{m_0}{v} \quad [2]$$

Onde:

ρ = densidade básica da amostra (g/m³)

m_0 = massa da amostra anidra (g)

v = volume da amostra saturada (m³)

Segundo Almeida (1998) e Carneiro (2021) a densidade aparente é determinada a partir de um teor de humidade padrão de referência de 12% e esta densidade é mais empregada em projectos de estruturas (fórmula 3).

$$\rho_{(12\%)} = \frac{m_{(12\%)}}{v_{(12\%)}} \quad [3]$$

Onde:

$\rho_{12\%}$ = densidade da amostra a 12% de humidade (g/m³)

$m_{12\%}$ = massa da amostra a 12% de humidade (g)

$V_{12\%}$ = volume da amostra a 12% de humidade (m³).

Vários estudos mostram uma relação entre a densidade da madeira e outros parâmetros tais como a idade das árvores e a região do lenho (cerne e borne). Segundo Moreschi (2005), a densidade também denominada massa específica constitui uma das propriedades mais importantes da madeira, pois, dela depende a maior parte de suas propriedades físicas e tecnológicas estando diretamente relacionada a retratilidade, à resistência mecânica da madeira e a uma maior dificuldade de secagem. Em regra geral, madeiras pesadas são mais resistentes, elásticas e duras que as leves (Moreschi, 2005).

Aytekin (2008), afirma que existe uma relação linear entre a resistência à retirada do prego e a densidade da madeira. O mesmo autor, constatou que a resistência ao arrancamento de pregos em madeiras jovens (menor densidade), de pinheiro é menor do que em madeiras maduras (com maior densidade), da mesma espécie e que a resistência à retirada do prego

perpendicular a grã em madeira juvenil é menor do que em madeira mais velha com a mesma densidade. Segundo muitos autores como Rammer (2010), Li *et al.* (2023) e Branco *et al.* (2011), entre outros, a resistência ao arrancamento de pregos aumenta com o aumento da densidade da madeira, ou seja, a relação entre a força de arrancamento e a massa específica é exponencial do tipo $F_{ax}=\rho^a$, sendo ρ a massa específica, porém não há unanimidade quanto ao valor do expoente.

Pré-furação

Em uniões pregadas é obrigatória a pré-furação da madeira, com diâmetro da broca não maior que o diâmetro do prego. Para madeira de coníferas recomenda-se uma pré-furação de 85% do diâmetro efectivo do prego e para folhosas 98% (EN 1995-1-1, 2004 e Gomes, 1997). Segundo a norma ABNT NBR 7190 (1997), citada por Júnior (2017), e Gomes (1997), somente em estruturas provisórias, admite-se o emprego de ligações pregadas sem a pré-furação da madeira, bastando que se empregue madeira de baixa densidade, ou seja, densidade aparente menor a 600Kg/m³.

Para Fairchild (1926) citado por Rosa (2018) há necessidade de se efectuar a pré-furação na madeira para evitar que se criem fendas durante a inserção dos pinos, pois a existência de pequenas fendas pode reduzir o poder de fixação dos pinos em 10 a 25%, além de aumentar a fragilidade e reduzir a resistência ao arrancamento.

Segundo Rammer (2010), pregos inseridos com pré-furação 90% do diâmetro do prego apresentam melhor resistência ao arrancamento em relação a pregos inseridos sem pré-furação e a pré-furação também previne ou reduz rachaduras na madeira particularmente em espécies de maior densidade.

Factores inerentes ao prego

Profundidade de penetração

Newlin e Gahagan (1938) citados por Battist (2017) pesquisaram a influência do comprimento de penetração na resistência ao arrancamento de pinos metálicos e concluíram que, quanto maior é a profundidade de penetração do pino, maior será a resistência ao arrancamento executada pelo mesmo, sendo a relação entre eles descrita de forma linear. Wu *et al.* (2024), citam que a profundidade de penetração do prego influencia na resistência ao

arrancamento, onde um aumento de 30 para 40mm de profundidade aumenta a resistência ao arrancamento numa proporção de 20,9%.

Diâmetro do prego

Rammer e Mendz (2008) citam que a resistência ao arrancamento do prego na madeira pode variar de acordo com o diâmetro do prego a ser aplicado, em sua pesquisa observaram que a relação entre o diâmetro e a resistência ao arrancamento de prego era do tipo linear excepto quando se trata de diâmetros maiores que para além de garantir resistência causam rachaduras na madeira, e acrescentam que o uso da pré-furação é uma alternativa para contornar a criação de rachas na madeira pregada com pregos de maior diâmetro.

Segundo Li *et al.* (2023), o aumento do diâmetro dos pinos causa rachaduras, pois, quando os pregos e parafusos são inseridos na madeira são fixados por forças de cisalhamento e extorsão das fibras, onde quanto maior for o diâmetro as fibras mais perdem resistência e a madeira racha por cisalhamento.

2.2.3. Resistência a compressão

A resistência à compressão é uma das propriedades mecânicas mais importantes quando se pretende utilizar a madeira em situações estruturais. Ela é variável ao longo da árvore de acordo com a geometria dos anéis de crescimento, com a idade e com a proximidade da medula. É considerada paralela às fibras ou compressão axial, quando consiste na determinação da resistência e da rigidez da madeira dada pela máxima tensão de compressão que pode actuar (Figura 1 a). É determinada como compressão perpendicular às fibras, quando uma carga é aplicada sobre a fração de madeira para se verificar a resistência máxima que a espécie suportará sem ser danificada (Figura 1 b) (Camargo, 2018; Oliveira, 2007; Abuali, 2019).

A resistência à compressão depende da massa específica da madeira e aumenta com o aumento dessa, estando também relacionada com a espécie, teor de humidade e com esforço aplicado paralelamente ou perpendicularmente as fibras da madeira, sendo o esforço na direcção paralela às fibras muito maior (Oliveira, 2007; Carneiro, 2021).

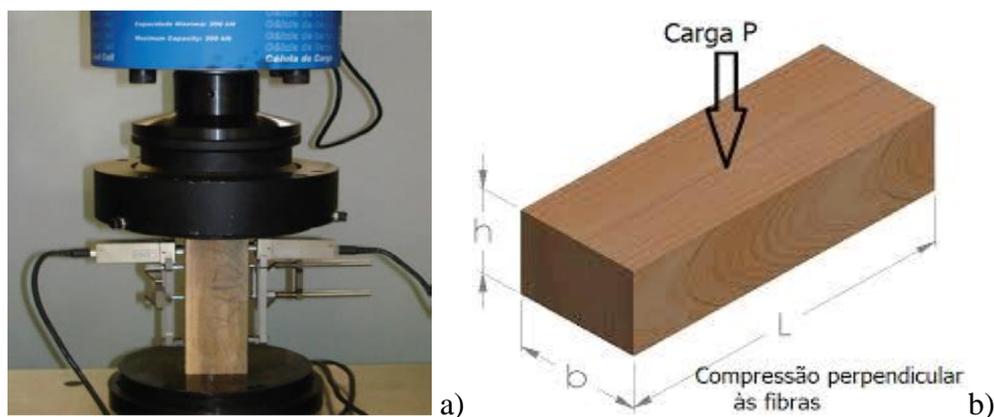


Figure 1. Ensaio mecânico de resistência à compressão das fibras: a) compressão paralela e b) compressão perpendicular.

Fonte: Leonello *et al.* (2012).

Segundo Carneiro (2021), a compressão paralela às fibras ou resistência a compressão axial tem boa correlação com quase todas as demais propriedades mecânicas da madeira e é o parâmetro essencial na classificação estrutural da madeira. Essa relação é observada com relação a resistência ao arrancamento dos pregos, onde, madeiras com maior resistência a compressão tendem a ter maior resistência ao arrancamento dos pregos, as forças de compressão das fibras da madeira ajudam a manter o prego fixo causando maior atrito durante o arrancamento e aumentando a resistência ao arrancamento.

2.2.4. Resistência à flexão

A resistência à flexão é uma das mais importantes propriedades mecânicas da madeira quando utilizada para a construção, sendo factor principal na construção de pontes, telhados, construções marítimas e em todas as demais construções de madeiras (Oliveira, 2007). Segundo Lima *et al.* (2008), no ensaio de determinação da resistência à flexão estática da madeira, uma carga é aplicada tangencialmente aos anéis de crescimento na metade do comprimento de um corpo de prova apoiado nos extremos, para causar tensões e deformações necessárias até a ruptura (Figura 2).

Uma viga sofre uma tensão à flexão, estando apoiada em suas duas extremidades, com uma carga aplicada no meio do vão e curva-se para baixo pela influência dessa força, criando um lado convexo que apresenta a tensão à tração, enquanto no lado côncavo apresenta a tensão à compressão (Javarini, 2011). Ainda de acordo com o mesmo autor, defeitos como nós, fibras revessas, rachaduras e outros defeitos reduzem a resistência à flexão, tendo assim, grande influência na resistência à flexão.



Figure 2. Teste de resistência a flexão estática na madeira.

Fonte: Morales *et al.* (2017)

2.3. Ligações em estruturas de madeira

O conhecimento das propriedades mecânicas da madeira é fundamental para a realização de projetos de estruturas construídas com este material, inclusive as propriedades relacionadas ao dimensionamento das ligações (Battisti, 2017).

As ligações em estruturas de madeira são indispensáveis, de um lado por ser uma estrutura reticulada, por outro para garantir união as peças de madeira para a adequação às dimensões de projecto (Maia, 2016). Visto que a resistência geral da estrutura está relacionada com o desempenho de suas ligações, é necessário que estas sejam devidamente dimensionadas, a fim de oferecerem durabilidade, resistência e segurança à estrutura (Maia & Góes, 2017).

As ligações em estruturas de madeira são consideradas pontos críticos da estrutura, podendo condicionar o comportamento do conjunto no que diz respeito aos estados limite últimos, durabilidade e a resistência ao fogo, necessitando assim que seja dada a devida importância ao seu dimensionamento, pois, são as regiões dessas ligações onde a concentração de esforços deve ser controlada (Torres, 2021). A melhoria da eficiência das ligações foi o que possibilitou a aplicação racional da madeira em estruturas de grande porte, sendo que essa evolução está ligada, principalmente, ao desenvolvimento das ligações pregadas e parafusadas (Oliveira, 2001).

A industrialização da madeira como material estrutural ocorreu quando se utilizaram diversos tipos de materiais para fazer as ligações, tais como: pregos, parafuso comum, parafuso auto-atarraxante, grampos e cavilhas (Correia, 2022). Segundo o mesmo autor cada tipo de ligação requer um projeto adequado e a execução das ligações é um dos factores que mais influenciam na competitividade das estruturas de madeira.

2.3.1. Tipo de ligações

Segundo Battisti (2017) e Torres (2021), as ligações entre elementos de madeira são classificadas em três tipos: ligações por contacto ou tradicionais, ligações coladas e ligações mecânicas. Essas ligações diferenciam-se pela forma como se aplicam em obra, pelos materiais utilizados e, principalmente, pela forma como as forças se transmitem na ligação.

2.3.1.1. *Ligações por contacto ou tradicionais*

As ligações tradicionais apresentam-se como as mais antigas. São formadas apenas pelo contacto entre as peças de madeira, que normalmente é feito através do encaixe entre as peças; nessas ligações os esforços são transmitidos por compressão e/ou atrito (Torres, 2021 e Rosa, 2018). Segundo Torres (2021), os tipos de ligações tradicionais mais utilizadas nas estruturas de madeira são os entalhes, os cruzamentos e os empalmes.

As ligações por **entalhe** consistem em corte e união por encaixe de dois ou mais elementos de madeira em ângulo formando um sulco em forma de “V” (Figura 3). Neste tipo de ligação as forças de compressão são transmitidas por contacto na superfície do entalhe (Barbosa, 2015). Em certos casos, nas ligações por entalhe, com o objetivo de aumentar a capacidade de carga da ligação, colocam-se ligadores metálicos de forma a reduzir as tensões instaladas nos elementos de madeira. Essas ligações são mais usadas em treliças e asnas para coberturas (Barbosa, 2015; Maia, 2016).

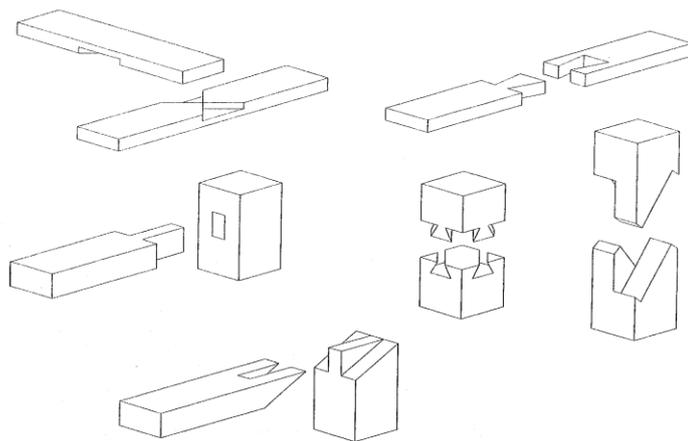


Figure 3. *Ligações tradicionais por entalhe.*

Fonte: Mendes (1994)

O **cruzamento** (Figura 4), corresponde à união de dois elementos de madeira, normalmente com a mesma espessura, onde a junção entre as peças deve ser plana de forma a garantir um encaixe perfeito (Barbosa, 2015). Essas ligações são usadas para transmitir esforços transversais em tectos, paredes e coberturas.

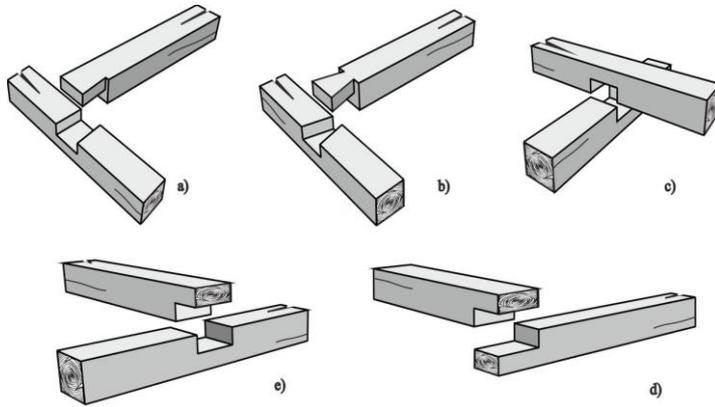


Figure 4. Ligações tradicionais em cruzamentos.

Fonte: Barbosa (2015)

Os **empalmes** são ligações feitas nas extremidades entres dois elementos de madeira (Figura 5), com o objectivo de acrescentar o seu comprimento no sentido longitudinal (Barbosa, 2015).

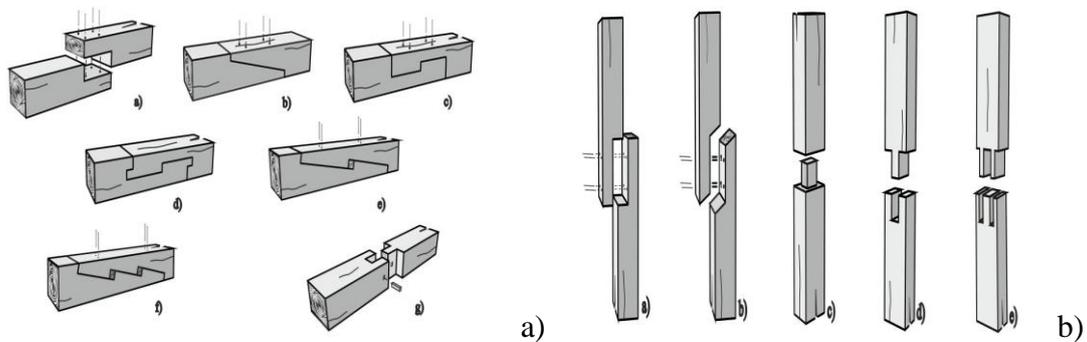


Figure 5. Empalmes: a) empalmes à compressão e b) empalmes à tração.

Fonte: Barbosa (2015)

2.3.1.2. Ligações coladas

As ligações coladas são aquelas em que são utilizados adesivos na união de peças de madeira para obter uma boa aderência. A sua eficiência está associada ao adesivo usado, onde, o mínimo erro ao nível da aderência ou da aplicação do adesivo pode colocar a ligação em causa (Rosa, 2018).

Segundo Maia (2016) e Torres (2021), as ligações coladas são utilizadas na produção de madeira laminada colada, compensados de madeira, ligações com barras de aço coladas em madeira e também na ligação transversal de elementos de madeira com elevadas larguras através da ligação por “finger-joint” (Figura 6).



Figure 6. *Ligação colada. finger-joint.*

A vantagem das ligações coladas está associada a economia do material a utilizar, a utilização de toda a secção de um elemento estrutural (uma vez que não é preciso cortar ou furar a madeira para ligar dois elementos estruturais) e o fácil modo de aplicação tratando-se de reparações e reabilitação de estruturas (Hilário, 2013).

2.3.1.3. Ligações mecânicas

As ligações mecânicas são aquelas onde há a inserção de um elemento de ligação nas peças de madeira. Estes elementos de ligação podem ser cavilhas que são pinos de madeira torneados, conectores que podem ser constituídos por anéis metálicos ou por chapas metálicas com dentes estampados, ou pinos metálicos que podem ser pregos ou parafusos (Gomes, 1997). Actualmente, estes tipos de ligação são praticamente indispensáveis e cada vez mais estudados devido às actualizações do mercado, as quais abrem oportunidades para criar estruturas mais esbeltas e contemporâneas (Maia, 2016 e Battisti, 2017).

Elementos metálicos são um tipo de fixador feito geralmente de aço, formado por um eixo cilíndrico denominado conector, cujo diâmetro é muito inferior ao comprimento (Rosa, 2018). Nas ligações por conectores metálicos, o carregamento é transferido através do elemento metálico, a força é distribuída lateralmente ao conector, ocasionando uma combinação de flexão e cisalhamento no mesmo, e as peças de madeira ficam submetidas à compressão (Battisti, 2017; Rosa, 2018 e Torres 2021).

Os elementos de ligação metálicos dividem-se em dois grupos, de acordo com a forma que se transmite as forças, nomeadamente elementos de ligação planos e de tipo cavilha.

Elementos de ligação planos

Os elementos de ligação planos ou conectores de superfície tem como objectivo transmitir cargas transversais e compreendem os anéis metálicos e as chapas metálicas com e sem dentes estampados (Battisti, 2017 e Gomes, 1997).

Os anéis metálicos são conectores mais antigos ainda usados hoje e são aplicados essencialmente entre elementos estruturais de madeira que são previamente cortados no local onde os anéis são fixados (Freitas, 2017 e Hilário, 2013). Essas ligações podem ser usadas em estruturas mistas madeira-aço e madeira-betão.

Segundo Hilário (2013), as chapas metálicas sem dentes estampados apresentam furos na sua superfície permitindo que sejam combinados com pregos para conferir uma maior fixação e por si só já preenchem o requisito do espaçamento entre conectores. Ainda segundo o mesmo autor e Mendes (1994), as chapas com dentes estampados apresentam segmentos de chapa cortados e colados perpendicularmente ao plano da chapa e esses dentes são cravados entres elementos de madeira para garantir melhor fixação e maior segurança das ligações.

Elementos de ligação de tipo cavilha

Segundo Rubim (2005) e Penteado *et al.* (2021), cavilhas são cilindros de madeira utilizados como elementos de ligação em estruturas de madeira posicionados em um pré-furo que possui um diâmetro ligeiramente menor.

Para a confecção das cavilhas de madeira, leva-se em consideração a espécie de madeira a ser utilizada na construção e devem ser torneadas e feitas ou com madeiras duras ou com madeiras moles de densidade aparente menor ou igual a 600Kg/m^3 bastando que sejam impregnadas com resinas que aumentem sua resistência (Gomes, 1997). Desde o passado, as cavilhas são aplicadas na indústria de móveis: cadeiras, armários, caixas para embalagens, esquadrias de madeira, elementos decorativos e, especialmente construção naval (Gomes, 1997 e Penteado *et al.* 2021).

As cavilhas por serem orgânicas detêm uma vantagem diante dos metais quando há a necessidade de se ter uma estrutura de madeira que pode eventualmente estar em contato com substâncias corrosivas como ácidos e bases (Rubim, 2005).

Ligações por pinos metálicos

Pino metálico é um tipo de fixador feito geralmente de aço, formado por um eixo cilíndrico, cujo diâmetro é muito inferior ao comprimento. São o tipo de ligadores mais utilizado, devido ao baixo custo, disponibilidade no mercado, e facilidade na aplicação, não necessitando de mão de obra especializada (Maia, 2016). Os tipos mais comuns de pinos metálicos são os pregos e parafusos.

Segundo Dolloso *et al.* (2021), os pinos metálicos têm desvantagem em relação as cavilhas porque quando utilizados em ambientes agressivos, como, regiões litorâneas, locais com grande concentração de indústrias químicas e ambientes com grande poluição apresentam um processo de degradação acelerado por oxidação, de tal modo que a sua área de seção transversal é diminuída, resultando na perda de resistência.

Ligações parafusadas

Os parafusos são pinos metálicos que apresentam roscas ao longo do seu eixo. Entre eles podem-se distinguir dois tipos: os parafusos com rosca e os passantes com porcas e anilhas. Os parafusos com rosca subdividem se em parafusos para madeira, parafusos sextavados com rosca soberba e os parafusos autoatarraxantes, cuja descrição é apresentada abaixo.

Parafuso para madeira (wood screw): apresenta a cabeça em formato plana, oval ou redonda e diâmetros entre 2,84 mm e 9,45mm, muito utilizado em peças com pouca espessura e que estejam submetidas a pequenos esforços e são fixados após uma pré-furação da madeira (Rosa, 2018 e Bttisti, 2017).

Parafuso sextavados com rosca soberba (lag screw): o parafuso apresenta a cabeça em formato hexagonal, com diâmetros entre 4,8 mm e 12,7 mm, são mais utilizados na fixação de estruturas de médio e de grande porte estando submetidos a esforços de cisalhamento ou a uma combinação de esforços de cisalhamento e de arrancamento (Rosa, 2018 e Battisti, 2017).

Parafusos autoatarraxantes (self-tapping screw): apresentam cabeça tipo torx, com diâmetros entre 3 mm e 12 mm e comprimento máximo de 600 mm. São usados em madeiras mais densas e na fixação de estruturas de médio e de grande porte submetidas a grandes esforços. Dependendo da densidade da madeira, normalmente

são inseridos sem pré-furação e usados para resistirem a esforços de cisalhamento e axiais.

De acordo com Torres (2021) e Goes e Júnior (2018), os parafusos de porca são considerados parafusos passantes porque atravessam as peças a serem unidas passando livremente nos furos. De acordo com os mesmos autores, apresentam um diâmetro superior a 8 mm e o seu uso é dependente das anilhas e porcas, entre a cabeça do ligador e o elemento de madeira, com a finalidade de distribuir o pré-esforço do parafuso por uma maior área de contacto no elemento de madeira, evitando o esmagamento localizado.

Torres (2021), adverte que os diâmetros dos parafusos têm de ser reduzidos, de forma a evitar tensões na zona onde se encontram inseridos, podendo levar à separação das fibras da madeira. Battisti (2017), indica que os parafusos devem ser inseridos na

madeira por meio de rotação, respeitando-se a pré-furação da madeira para evitar fendilhamentos, e acrescenta que o diâmetro de pré-furação depende do diâmetro do parafuso e da densidade da madeira.

Os parafusos por apresentarem roscas ganham maior vantagem em relação a pregos e cavilhas, pois além da simplicidade de aplicação eles podem ser reutilizados sem perder as suas capacidades de fixação, suportam mais carga dependendo do seu diâmetro e tem maior capacidade de aderência conferida pelas roscas e, tem como desvantagem o facto de que a sua manutenção deve ser periódica quando aplicados em estruturas de grandes dimensões (Mendes, 1994 e Battisti, 2017).

Uniões por pregos

Os pregos são os elementos de ligação mais comuns utilizados nas construções de madeira e provavelmente os mais tradicionais, sendo peças metálicas cravadas na madeira por meio de impacto (Dias, 2013; citado por Júnior, 2017). A função do prego nas ligações é de manter as peças de madeira em posição ou, em alguns casos, solidarizar as uniões obtidas por entalhe, em que o prego é solicitado ao arrancamento e não ao corte (Oliveira, 2001).

O prego é uma das melhores maneiras para se ligar dois objectos de madeira, mas antes deve-se verificar qual prego oferece a melhor resistência ao tipo de madeira em questão (Valadão, 2017). Os pregos mais usados na construção civil são representados na figura abaixo. São

eles, o prego com cabeça de fuste circular cilíndrico (a), prego sem cabeça (b), prego ardox (c), prego telheiro galvanizado (d), prego com cabeça dupla (e), prego anelado (f) e prego quadrado (g).



Figure 7. Tipos de pregos mais usados na construção civil

Fonte: Júnior (2017)

Segundo Valadão (2017), em uniões de madeira os pregos são a ligação mais resistente em comparação com as ligações parafusadas e cavilhas, atingindo 502 Mpa de resistência ao arrancamento, cavilhas atingindo a resistência de 360Mpa e os parafusados alcançando 239 Mpa. O prego de aço para madeira geralmente em contato com a água e o sol, gera a oxidação do mesmo tornando-o menos resistente a compressão ou cisalhamento de acordo com a posição em que é usado. A Tabela abaixo descreve pregos mais usados na construção civil.

Tabela 1, Tipos de pregos e sua devida descrição.

Tipo de prego	Descrição do prego
Pregos com cabeça de fuste circular cilíndrico	são geralmente usados em construção de casas, confecção de estruturas, construções pesadas, marcenaria e produção de caixas
Prego sem cabeça	é empregado em marcenaria, móveis assoalhos, rodapés, guarnições, portas e janelas. Não alteram a cor da madeira e apresentam uma ponta perfeita e comprimento preciso.
Pregos ardox	são pregos usados maioritariamente em madeiras de alta densidade, embalagens e suportes de madeiras; apresentam melhor conexão entre madeiras, excelente poder de perfuração, fácil penetração e uma maior resistência ao arrancamento.
Prego Telheiro	utilizado em telhas de fibrocimento; aço; alumínio; folha de zinco com espessura até 5 mm e pequenas ondas até 39 mm sobre estrutura de madeira, evita vazamentos e boa resistência ao arrancamento
Pregos de cabeça dupla	são utilizados em fechamento de fôrmas, escoramento de lajes, estruturas de bandejas e estruturas temporárias e não danifica a madeira e ainda possui fácil arranque
O prego anelado	é empregado em madeiras de menor densidade (coníferas), caixotaria em geral, pallets, embalagens e móveis e possuem excepcional resistência ao arrancamento e melhor adaptação à fibra de madeira
Pregos quadrados	ainda amplamente utilizados em países como Portugal, são empregados em cascos de embarcações, acabamento interno de embarcações, mata-burros e decks de piscinas.

Fonte: Júnior (2017) e Valadão (2017)

Os pregos são os elementos de ligação mais baratos, simples e de inserção rápida, apresentam alta resistência ao cisalhamento o que os tornam mais eficazes para uso em estruturas de revestimento e cobertura, garantindo maior flexibilidade em combinação com a madeira, em relação aos parafusos (Battist 2017; Maia, 2016).

2.4. Descrição das espécies

2.4.1. *Brachystegia spiciformis*

Brachystegia spiciformis (messassa comum), é uma árvore com altura que varia dos 8-25m pertencente à família *Fabaceae* e subfamília *Leguminosae* (*Caesalpiaceae*), com nome comercial “messassa comum”. Apresenta um porte variável copa aberta, tronco alto e subcilíndrico, um pouco tortuoso na parte superior. Borne esbranquiçado tendendo por vezes para amarelado; cerne castanho claro a castanho escuro, por vezes com manchas e listas de tom variável; camadas de crescimento distintas (Loupp & Oyen, 2012; Orwa *et al.* 2009).

Anatomicamente, a *B. spiciformis* apresenta anéis de crescimento indistintos ou ausentes, porosidade difusa regular, vasos em diagonal e solitários de formato circular e predominam em linhas múltiplas radiais curtas. Raios do tipo estreitos e abundantes, parênquima axial em faixas aparentemente marginais que alternam entre estreitas ou largas, com ocorrência predominantemente paratraqueal aliforme, confluyente e também em formato losango (CEAGRE, 2020).

Segundo Oyen & Loupp (2012), encontra-se distribuída a partir do sul e leste da República Democrática do Congo, sudeste do Quênia, Tanzania e Angola para o sul até ao Zimbabué, Moçambique e no Norte da Africa do Sul.

A densidade básica da madeira de messassa varia num intervalo médio de 0,50-0,70 g/cm³ e uma densidade aparente (12%) entre os 0,70-0,75 g/cm³, (Bila *et al.* 2020; Egas *et al.* 2019, Bunster, 1995). Melo *et al.* (1990) e IBAMA (2015), citados por Bila (2020), classificam as madeiras nesse intervalo de densidade como madeiras de densidade média.

Segundo Bila (2020), esta espécie apresenta uma contracção volumétrica de cerca de 12%, contracção tangencial e radial de 7,94 e 4,58% respectivamente, o que significa que esta espécie apresenta uma boa estabilidade dimensional.

A madeira de messassa comum é usada para pavimentos, marcenaria, guarnições interiores, adereços de minas, carroçarias de veículos, caixas, caixotes, recipientes para alimentos, folheados, contraplacados e pasta para papel (Oyen & Loupp, 2012). É igualmente importante como fonte de lenha e carvão vegetal na África Austral. Ainda segundo Oyen & Loupp (2012), a madeira de messassa comum tem grande tendência a rachar-se quando pregada, fazendo com que seja necessária uma pré-furação antes de pregar.

2.4.2. *Julbernardia globiflora*

Árvore pertencente à família *Fabaceae* e subfamília *Leguminosae* (*Caesalpinaceae*), de até 12m. Conhecida comercialmente como “messassa encarnada”. Apresenta copa sub-horizontal; decídua; casca acinzentada e lisa nos ramos novos, no tronco e nos ramos mais velhos cinzenta escura e rugosa. Apresenta Borne castanho claro, o cerne em geral apresenta tom castanho avermelhado (Loupp, 2016; Brummitt, 2007).

Na sua anatomia, a *J. globiflora* apresenta anéis de crescimento indistintos ou ausentes, porosidade difusa regular e uniforme, vasos de tamanho médio a grande, medianamente abundantes, raios do tipo estreitos e abundantes, parênquima axial invariavelmente vasicêntrico, aliforme e em formato losângo, confluyente e com faixas de largura mediana aparentemente marginais células do raio todas procumbentes (CEAGRE, 2020).

Julbernardia globiflora é uma espécie que ocorre na floresta de miombo e encontra-se distribuída a partir do sul e leste da República Democrática do Congo, sudeste do Quênia, Tanzânia e Angola para o sul até ao Zimbabué, Moçambique e no norte da África do Sul (Chidumayo, 2017; Oyen & Loupp, 2012).

Nhacila *et al.* (2020), estimaram uma densidade aparente média de 0,81g/cm³ para madeira não tratada e 0,74g/cm³ e Bila *et al.* (2021) obteve um valor de densidade básica e aparente de 0,68g/cm³ e 0,76g/cm³ respectivamente. Valores similares foram observados por Bunster (1995) e Kan (2018). Madeiras nesse intervalo de densidade podem ser classificadas como madeiras de média densidade segundo o critério de Melo *et al.* (1990) e Lorenzi (2002).

A madeira de messassa encarnada é indicada para carpintaria, móveis, escadas para interiores, marcenaria interna, móveis embutidos, estruturas de casas, pisos, entre outros (Gerard *et al.* 2017). Os mesmos autores citam que a madeira de messassa encarnada tem boa capacidade de pregagem bastando que a madeira seja submetida a uma pré-furação.

2.4.3. *Pinus Taeda*

Pinus taeda é uma espécie pertencente ao gênero *Pinus*, família *Pinaceae*, ordem *Coniferae*, grupo das *Gymnospermae*. É considerado o gênero mais importante economicamente a nível mundial quando se refere a gêneros produtores de madeira, pelo facto de estar entre os mais

bem-sucedidas face ao rápido crescimento e diversidade de espécies, sendo a principal fonte de matéria-prima para a indústria de base florestal (Juízo *at al.*, 2015).

Pinus taeda é uma planta lenhosa, geralmente arbórea, com altura que pode atingir mais de 20 metros. Possui tronco recto, relativamente cilíndrico e copa em formato de cone, folhas em forma de acículas, um ritidoma gretado e ramos acinzentados. A sua madeira apresenta um borne branco amarelado e o cerne castanho avermelhado. O cerne começa a se formar quando a árvore tem cerca de 20 anos (Camargo, 2018; Mendes, 2017; Melchiorretto e Eleutério, 2003).

A estrutura anatómica de *P. taeda* é relativamente simples, apresenta anéis de crescimento distintos, com uma visível transição do lenho inicial para o tardio, apresenta traqueídes radiais longos com pontuações areoladas e com extremidades fechadas, tem um parênquima radial e epitelial radial (Zegarra, 2011).

De acordo com Melchiorretto e Eleutério (2003), a densidade básica da madeira desta espécie é de 0,37 g/cm³ e densidade aparente de 0,45 g/cm³, e pode ser classificada como de baixa densidade. Pinheiro (1996), por sua vez encontrou resultados de densidade básica variando entre 0,47 e 0,51g/cm³.

P. taeda é uma espécie bastante versátil no seu uso devido a sua fácil trabalhabilidade e seu fácil crescimento quando plantada em diferentes ambientes. Segundo Vivian (2022), devido a boa estabilidade dimensional, boa habilidade frente ao ensaio de flexão estática, a madeira de *Pinus taeda* pode ser indicada para usos que explorem seu maior desempenho mecânico, como o uso estrutural. Autores como Lamprecht (1990) citado por Titos (2013) e Pinheiro (1996), indicam que a madeira dessa espécie pode ser aplicada na construção civil para fabrico de andaimes, construções leves, foras para concreto, ripas, partes secundárias de estruturas, rodapés, entre outros.

3. Materiais e métodos

3.1. Proveniência do material.

Para esta pesquisa foi usada madeira em pranchas das espécies *Brachystegia spiciformis* (messassa comum), *Julbernardia globiflora* (messassa encarnada) e *Pinus Taeda* (pinho). As pranchas de messassa são provenientes da concessão florestal da empresa Levasflor localizada nos distritos de Muanza e Cheringoma, na província de Sofala. Essa concessão cobre uma área de 46.239 hectares (figura 7). O distrito de Muanza apresenta clima do tipo tropical chuvoso de savana com uma precipitação média anual que varia entre 800-1400mm e temperatura com variação anual entre os 24 - 26°C, com solos predominantemente arenosos bem drenados e com baixa capacidade de retenção de água e nutrientes. O distrito de Cheringoma apresenta um clima tropical chuvoso de savana, com a precipitação media anual variando de 1000 a 1200mm por ano, temperatura media anual de 24,2 – 30,7°C e os solos da região são distribuídos em 5 principais associações que vão desde solos quartzíticos, arenosos a solos aluvionares da planície delta (MAE, 2005).

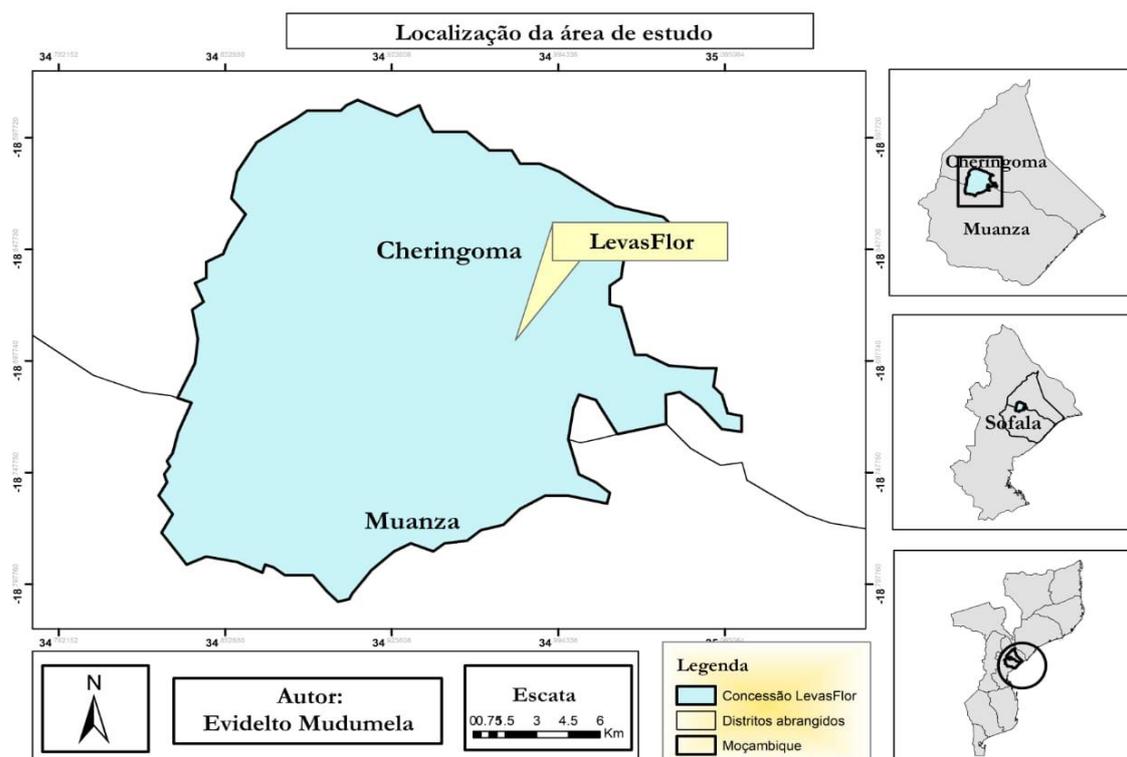


Figure 8. Mapa da localização da concessão LevasFlor

As pranchas de pinho são provenientes da floresta de Nhamacari do Centro Florestal de Machipanda (CEFLOMA), uma unidade pertencente a Universidade Eduardo Mondlane

sediado na província de Manica distrito com mesmo nome, Posto administrativo de Machipanda. Situa-se a uma latitude meridional variando de 18° 55'45" a 18° 57'56" e longitude oriental entre os 32° 41'52" e 32° 44' 17", a uma altitude que varia de 1500 a 2000 m acima do nível do mar. O clima da região é do tipo temperado húmido, com temperatura média anual do distrito de 21,2°C, atingindo no verão uma média anual de 28,4°C e no inverno uma média anual de 14°C. A precipitação da região montanhosa de Machipanda regista valores médios anuais na ordem dos 1000 à 1200mm (MAE, 2005).

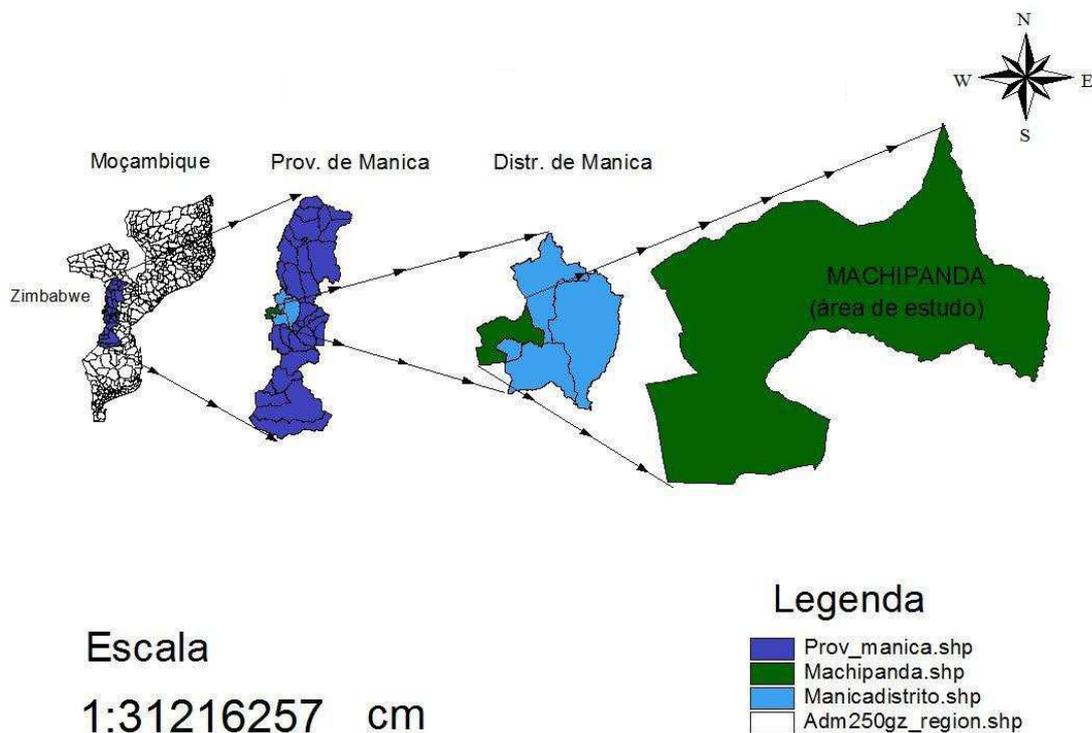


Figura 9. Mapa da localização da floresta de Nhamacari.

Fonte: Gulamo (2015)

3.2. Obtenção das amostras no campo

As amostras de madeira de messassa foram obtidas de 12 árvores abatidas e convertidas em torretes de 1,5m de comprimento. Em seguida cada torrete foi processado na serração da concessão e transformado em pranchas radiais de 60 mm de espessura e 1,5m de comprimento. Após o processamento as pranchas foram transportadas para a carpintaria do Instituto de Investigação Agrária de Moçambique (IIAM) na cidade de Maputo onde foram empilhadas para secagem e processamento subsequente. As amostras de pinho foram obtidas de 5 árvores e tiveram o mesmo tratamento que as amostras de messassa (figura 4).

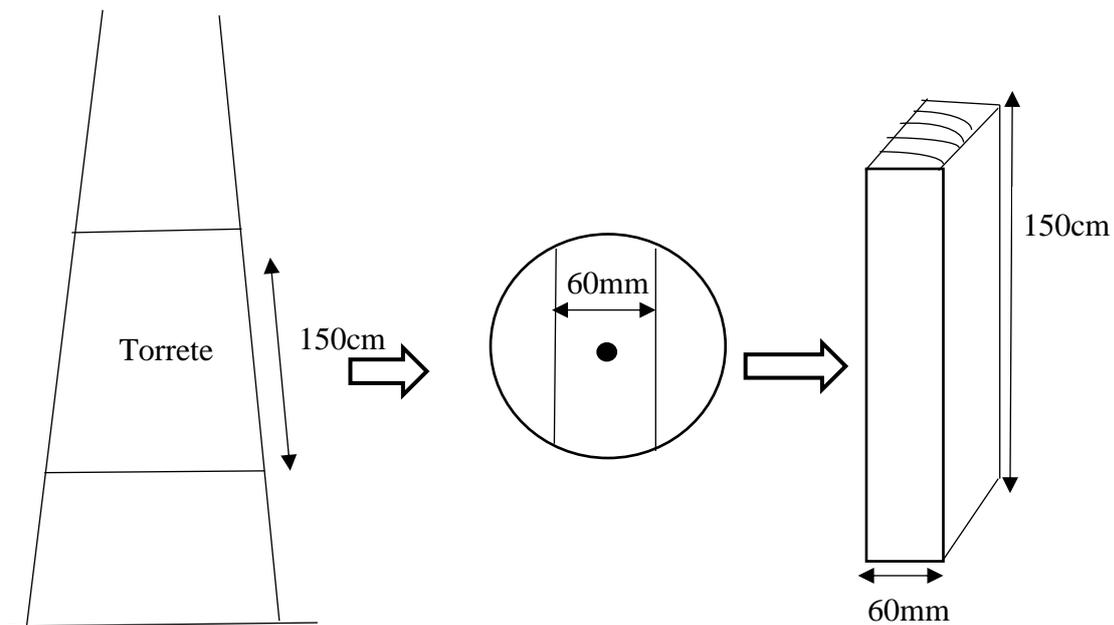


Figura 10. Esquema de transformação de torretes em pranchas.

3.3. Preparação e acondicionamento dos corpos de prova

Após a secagem foram selecionadas 5 pranchas de cada espécie de onde foi recortada uma viga de 6cm de espessura, 75cm de comprimento e largura variável em função do diâmetro do cerne. Em cada viga foram retirados corpos de prova somente da região do cerne com dimensões de 50mm x 50mm x 150mm (largura, espessura e comprimento), segundo o especificado pela norma ASTM D 1761-2012. O material permitiu a produção de 59 corpos de prova de messassa comum, 42 de messassa encarnada e 100 de pinho. A partir do material restante das vigas de 75cm de comprimento foram extraídas amostras com dimensões de 2x2x4 cm (largura, espessura e comprimento), segundo especifica a norma ISO 13061-2:2014 para a determinação da humidade e densidade básica. Todas as amostras foram processadas na carpintaria do IIAM e em seguida levadas ao Laboratório de Tecnologia da Madeira da Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal da Universidade Eduardo Mondlane para as actividades subsequentes.

Uma vez no laboratório, as amostras foram sujeitas a um processo de selecção no qual foram escolhidas 40 peças de messassa comum e de messassa encarnada livres de defeito. Considerou-se como critério de defeito nas amostras a existência de nós, cicatrizes, rachas, sob e sobredimensionamento. Os corpos de prova selecionados foram codificados segundo

a espécie, número da prancha e número do corpo de prova na prancha e de seguida pesados e colocadas na câmara de aclimatização a temperatura de 20°C e 65% de humidade relativa.

Os testes de resistência mecânica foram realizados quando os corpos de prova atingiram a humidade de 14±1%. A monitoria do processo de perda de humidade na câmara de aclimatização foi realizada através do método de pesagem dos corpos de prova e de amostras de controlo de 2x2x4cm obtidas de alguns corpos de prova onde humidade inicial foi determinada de acordo com a norma ISO 13061-2:2014.

$$H_{(\%)} = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100 \quad [4]$$

Onde:

H= humidade em percentagem (%)

m1= peso húmido da amostra (g)

m2= peso seco da amostra (g)

3.4. Determinação da densidade básica

Para determinação da densidade básica os corpos de prova com as dimensões de 2x2x4cm foram imersos em recipiente contendo água destilada até atingirem a saturação e em seguida mediu-se o volume saturado pelo princípio de Arquimedes usando o método da balança hidrostática. Após a obtenção da massa saturada, as amostras foram secas em estufa à temperatura de 103 ± 2°C para a obtenção da massa seca. Para os cálculos da densidade básica foi usada a formula 5.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad [5]$$

Onde:

ρ= densidade da amostra (g/cm³)

m= massa da amostra (g)

v= volume da amostra (cm³)



Figura 11. Determinação da densidade básica.

Fonte: o autor

3.5. Teste de arrancamento de pregos

O ensaio para a determinação da resistência ao arrancamento de conectores mecânicos como pregos e parafusos, é realizado para verificar o desempenho da madeira ou derivados desta, quando solicitados a esforços em situações estruturais que exijam a fixação de pregos ou parafusos (Gama *at al.* 2010), conforme se detalha em seguida.

3.5.1. Inserção dos pregos nos corpos de prova

A inserção de pregos foi realizada seguindo as orientações da norma ASTM D1761-2012. Aos corpos de prova com dimensões de 50x50x150mm, foram inseridos pregos nos planos, tangencial, radial e transversal (Fig. 6), dado que a madeira maciça se comporta de forma diferente nos três planos de corte (Maia, 2016).

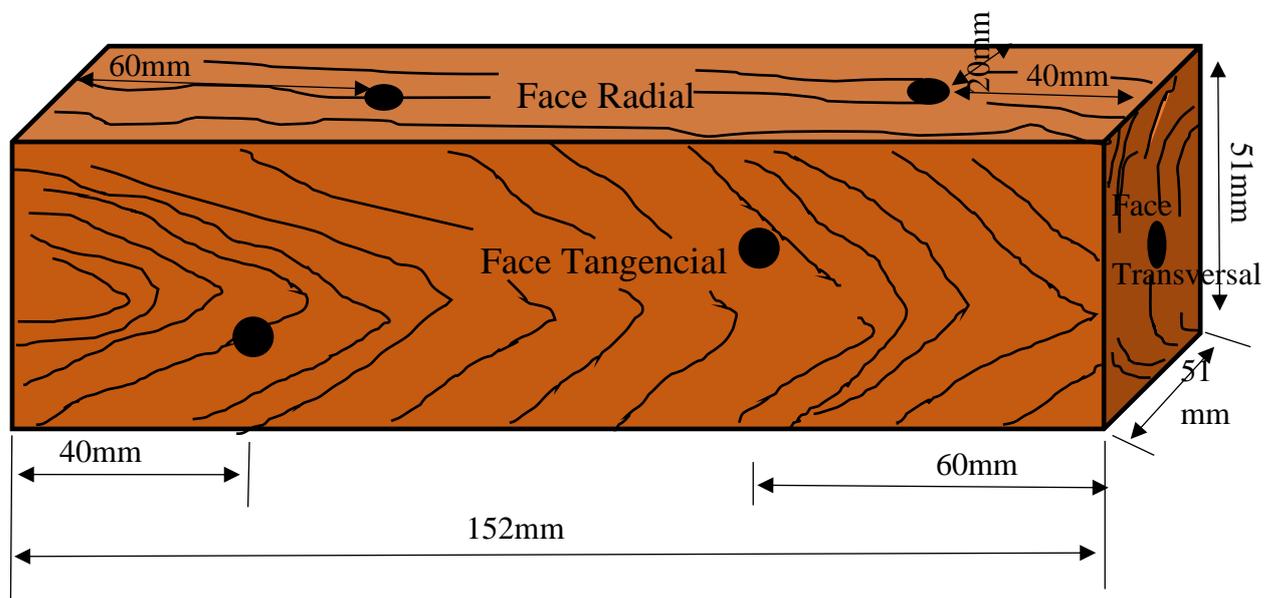


Figure 12. Esboço de corpo de prova mostrando as dimensões e pontos de inserção dos pregos em cada plano de corte.

Vários autores como Celebi e Kilic (2006) e Ribeiro *at al.* (2018), defendem a necessidade de efetuar uma pré-furação nos corpos de prova para garantir uma inserção eficiente do prego sem riscos de rachadura do material. Segundo a EUROCOD-5 só é feita a pré-furação quando a densidade da madeira for superior a 500 kg/m^3 ou quando o diâmetro do prego a usar exceder 6mm. Para este trabalho, os pregos usados não satisfazem a condição para o efeito da pré-furação em termos de diâmetro, mas satisfazem-na em para as duas messassas em termos de densidade da madeira que é superior a 500kg/m^3 . Assim optou-se por testar inicialmente a pregagem sem e com pré-furação de modo a estabelecer definitivamente a necessidade ou não de pré-furação assim como a definição dos diâmetros dos pré-furos.

Foram usados 20 corpos de prova por espécie para o teste de pregagem sem pré-furação, assim como para a determinação do diâmetro do pré-furo usando diferentes brocas. Para os ensaios de resistência mecânica ao arrancamento de prego foram usados também 20 corpos de provas por espécie. Em ambos os casos metade dos corpos de prova foram aplicados ao teste com pregos de dimensões de $3,6 \times 75\text{mm}$ (diâmetro e comprimento), e outra metade com pregos de $4,7 \times 75\text{mm}$.

Para os planos tangencial e radial foram inseridos dois pregos e um prego para o plano transversal. Os pregos foram inseridos formando um ângulo recto com a superfície da

madeira até uma profundidade de penetração de 32mm. A distância entre os pregos e as bordas foi de 20mm e os pregos foram posicionados a 40 e 60mm das extremidades do corpo de prova. Os pregos não foram alinhados entre si e estavam a uma distância de 50mm entre si como recomenda a norma ASTM D 1761-2012 e foram inseridos manualmente com uso de um martelo.

Durante a pré-furação, a broca era posicionada formando um ângulo recto com a superfície da madeira para garantir que o prego fosse inserido no mesmo sentido sem inclinação (Fig. 12). A broca era inserida até uma profundidade de 35mm de comprimento para garantir uma inserção completa de 32mm de comprimento do prego.



Figure 13. *Imagem ilustrativa do processo da pré-furação na madeira.*

Foram usados para os testes, pregos para chapas com rosca helicoidal disponíveis nos mercados e mais usados para coberturas de chapas de zinco ou fibrocimento (Fig. 14).



Figure 14. Pregos usados nos testes de resistência ao arrancamento. Pregos de 3,6mm à esquerda e prego de 4,7mm à direita.

3.5.2. Procedimentos do teste de resistência ao arrancamento de prego

Segundo a norma ASTM D 1761 quando se pretende executar o teste de arrancamento de pregos, os corpos de prova devem estar secos e acondicionados até uma mesma humidade de equilíbrio e os pregos não devem ser inseridos antes que o equilíbrio seja atingido.

Após a inserção dos pregos nos corpos de prova, estes, devem ser retirados dentro de um tempo máximo de 1 hora quando não se pretende avaliar a resistência ao longo do tempo.

Para este trabalho os pregos foram retirados por meio de uma máquina universal de ensaios de resistência mecânica da marca Testometric com a capacidade máxima de 5000Kgf (Fig. 15). O corpo de prova era fixado num molde colocado no dispositivo da posição inferior da máquina de teste e a cabeça do prego era encaixada à ranhura de uma garra fixada no dispositivo superior da máquina universal (Fig. 15 A e B). Em seguida aplicava-se uma força de tracção com uma taxa uniforme de retirada do prego de 2,54mm/minuto e por fim fazia-se a leitura da carga máxima da remoção do prego da madeira.

Imediatamente depois da realização dos testes, eram seleccionados 3 corpos de prova de cada espécie aos quais eram extraídos ao longo da secção transversal peças de madeira com 2cm de espessura (2 peças por corpo de prova) e em seguida pesados e colocados para secagem em estufa a $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ de temperatura até atingir peso constante. A humidade das peças foi determinada com base na norma ISO 13061-2:2014.

A

B



Figura 15. Ilustração da fixação da amostra de madeira na máquina de ensaios para retirada do prego nos planos radial ou tangencial (A) e transversal (B).

3.6. Avaliação teórica da resistência ao arrancamento do prego

A resistência a retirada do prego na madeira depende de vários factores dentre eles, a densidade básica da madeira, o diâmetro do prego e profundidade de penetração. Tendo os valores dos parâmetros acima mencionados é possível obter a carga máxima teórica necessária para arrancar pregos roscados da madeira de uma dada espécie usando a equação 6 propostas por Rammer (2010).

$$\rho = 73.11G^2 * D * L \quad (N) \quad (6)$$

Onde:

ρ - é a carga máxima (N, lb);

L - é a profundidade de penetração (mm, pol.) do prego na madeira;

G - é a densidade básica específica da madeira com base no peso anidro e volume da amostra a 12% de humidade; e

D - é o diâmetro do prego (mm, pol.).

3.7. Análise de dados

Os dados obtidos do ensaio foram organizados e submetidos a análise estatística descritiva: cálculo de média, mínimo, máximo, variância, coeficiente de variação e desvio padrão no software da Microsoft office professional plus (excel 2016). O coeficiente de variação foi interpretado de acordo com Gomes (1990), que considera como variabilidade baixa valores menores que 10%, variabilidade média entre 10% e 20%, alta entre 20% e 30%, e muito alta quando os valores forem maiores que 30%. Com auxílio do software Stata 14, os dados foram também submetidos a análise de variâncias (ANOVA), onde a validação dos resultados foi realizada com base nos testes de especificações: Normalidade (teste de Shapiro Wilks) e Heteroskedasticidade (teste de Breusch – Pagan). Encontradas diferenças significativas entre as médias dos tratamentos, as comparações de médias entre pares de tratamentos eram efetuadas pelo teste de t-student e Tukey a 5% de probabilidade, caso os pressupostos de Normalidade e Heteroskedasticidade não fossem violados.

4. Resultados e discussão

4.1. Densidade básica e aparente

A tabela 2 mostra os valores médios da densidade básica da madeira e os seus coeficientes de variação. Pode se notar que a madeira de *B. spiciformes* tem um valor medio de densidade básica de 0,586g/cm³, *J. globiflora* de 0,768 g/cm³, sendo a espécie com densidade mais alta e por fim o *P. taeda* apresentou valor mais baixo de densidade básica de 0,440g/cm³.

Tabela 2. Valores médios e coeficientes de variação da densidade básica das espécies *Pinus taeda*, *Brachystegia spiciformis* e *Julbernardia globiflora*.

Espécie	Média (g/cm ³)	Mínimo (g/cm ³)	Máximo (g/cm ³)	C. variação (%)
<i>Brachystegia spiciformis</i> (messassa comum)	0,5858	0,4736	0,6783	19,13
<i>Julbernardia globiflora</i> (messassa encarnada)	0,7676	0,6971	0,8361	10,93
<i>Pinus taeda</i> (pinhu)	0,4399	0,3355	0,6251	6,71

O valor de densidade básica obtido no presente estudo para *B. spiciformis* está abaixo dos valores obtidos na literatura e para *J. globiflora* e *P. taeda* encontram-se dentro dos próprios intervalos, conforme mostra a Tabela 3.

Vários estudos mostram uma relação entre a densidade da madeira e outros parâmetros tais como a idade das arvores e a região do lenho (cerne e borne). Segundo Moreschi (2005), a densidade também denominada massa específica constitui uma das propriedades mais importantes da madeira, pois, dela depende a maior parte de suas propriedades físicas e tecnológicas estando diretamente relacionada a retratilidade, à resistência mecânica da madeira e a uma maior dificuldade de secagem. Em regra geral, madeiras pesadas são mais resistentes, elásticas e duras que as leves (Moreschi, 2005).

Tabela 3. Densidade básica das espécies estudadas o encontram se dentro dos respectivos intervalos btidos em outros estudos (g/cm³).

Espécie	Valor do presente estudo	Valores de outros estudos	
		Valor	Fonte bibliográfica
<i>Brachystegia spiciformis</i>	0,586	0,67	Bila <i>et al.</i> (2021)
		0,63	Egas <i>et al.</i> (2019)
		0,59	Bunster (1995)
<i>Julbernardia globiflora</i>	0,768	0,68	Bila <i>et al.</i> (2021)
		0,81	Nhacila <i>et al.</i> (2020)
		0,74	Gerard <i>et al.</i> (2017)
<i>Pinus taeda</i>	0,440	0,56	Oliveira <i>et al.</i> (2006)
		0,40	Sousa <i>et al.</i> (2007)
		0,35	Maciel <i>et al.</i> (2019)

4.2. Resistência mecânica ao arrancamento de pregos

4.2.1. Comportamento da madeira e dos pregos no processo da pregagem.

No acto de inserção do prego na madeira foram registados para além de situações normais, diferentes comportamentos irregulares dos corpos de prova e dos pregos que obrigaram a adopção da pré-furação (Tabela 4).

Tabela 4. Situações observadas na pregagem das amostras e medidas alternativas

Espécie	Prego aplicado	Comportamento das amostras e dos pregos e medidas alternativas
<i>Pinus taeda</i>	3.6mm	Perfeita inserção do prego na madeira sem pré-furação nos três planos anatômicos: as amostras não apresentaram rachaduras e os pregos não se dobraram durante a pregagem.
	4.7mm	Ao serem pregadas sem pré-furação no plano transversal, as amostras não apresentaram rachas. Entretanto cinco de 7 amostras apresentaram rachas ao serem pregadas sem pré-furação nos planos tangencial e radial (figura 10), daí que foi necessário proceder à pré-furação usando uma broca com diâmetro de 2,5mm correspondente a 53% do diâmetro efetivo do prego. Por forma a uniformizar o procedimento, a pré-furação foi realizada nos três planos. Não foram usadas brocas superiores a 2,5mm para evitar a redução da resistência ao arrancamento do prego, dado que a densidade da madeira é baixa.
<i>B. spiciformis</i>	3.6mm	Perfeita inserção do prego na madeira sem pré-furação nos três planos anatômicos: as amostras não apresentaram rachaduras e os pregos não se dobraram durante a inserção.
	4.7mm	Ao serem pregadas sem pré-furação no plano transversal as amostras não apresentaram rachas. Entretanto de 7 amostras pregadas cinco apresentaram rachas nos planos tangencial e radial ao serem pregadas sem pré-furação (figura 14 a) e b)), com mais ênfase para o plano radial. Para corrigir o problema também foi aplicada uma pré-furação com uma broca de 2,5mm correspondente a 53% do diâmetro efetivo do prego. Por forma a uniformizar o procedimento, a pré-furação foi realizada nos três planos. Não foram testadas brocas de tamanho superior a 2,5mm para evitar a redução da resistência ao arrancamento do prego.
<i>J. globiflora</i>	3.6mm	Em pelo menos 5 das 7 amostras pregadas sem pré-furação, o prego dobrou antes de atingir a profundidade de penetração requerida de 32mm (Fig. 14 c) e d)), nos três planos. Com pré-

		furação usando brocas de 3, 3,2 e 3,5mm de diâmetro os pregos dobraram-se, pelo que não foi possível concretizar o teste.
	4.7mm	Ao pregar as amostras sem pré-furação em 7 amostras, os pregos testados nos planos tangencial, radial e transversal dobraram-se e duas amostras tiveram uma racha ligeira durante a pregagem, daí que foi necessário efetuar a pré-furação. Aplicando a pré-furação com brocas de diâmetro menor que 3,5mm em alguns casos as brocas quebraram e os pregos dobraram-se. A broca com diâmetro de 4mm apresentou dificuldades de penetração na madeira, exigindo grande esforço do operador sobre o berbequim para a inserção da broca, aquecimento excessivo da broca e fumigação da amostra. Assim, optou-se pela aplicação de pré-furação com uma broca de 3,5mm, equivalente a 74% do diâmetro efectivo do prego nos planos tangencial e radial. O plano transversal foi mais tolerante a inserção do prego tendo sido aplicado uma pré-furação de 3,2mm, correspondente a 68% do diâmetro efectivo do prego.

A madeira é um material que pode apresentar um comportamento plástico ou elástico dependendo das circunstâncias em que for submetida a um dado teor de humidade (Moreschi, 2014). As falhas ou rachas observadas nas amostras durante a pregagem podem ser causadas pelo teor de humidade em que as amostras se encontravam, pois, quando a humidade da madeira é baixa e é aplicada uma força sobre ela, tende a ter deformações plásticas porque as fibras tendem a ser menos suaves com a diminuição da humidade (Paula *et al.*, 1988).



Figure 16. Rachadura no plano radial e tangencial (a e b), causada pelo prego durante a sua inserção e pregos dobrados na madeira de messassa encarnada (c e d).

Além da humidade, outro factor que pode ter causado rachaduras na madeira é o diâmetro do prego. Segundo Li *et al.* (2023), o aumento do diâmetro dos pinos causa rachaduras, pois, quando os pregos e parafusos são inseridos na madeira são fixados por forças de cisalhamento e extorsão das fibras, onde quanto maior for o diâmetro as fibras mais perdem resistência e a madeira racha por cisalhamento. Segundo o mesmo autor a pré-furação na madeira para inserção de pregos e parafusos aumenta a resistência ao arrancamento. Falk *et al.* (2001) estudou a resistência ao arrancamento de pregos com 3mm de diâmetro inseridos na madeira após a pré-furação com 80% do diâmetro do prego e verificou que o pré-furo não influenciava negativamente na resistência ao arrancamento.

Paula *et al.* (1988), em seu estudo sobre a resistência ao arrancamento de pregos em espécies da amazónia, verificaram que a maioria da madeira com densidade acima de $0,65\text{g/cm}^3$, não aceitou a inserção do prego, o que levou a que se efetuasse a pré-furação na madeira. Os mesmos autores citam que a densidade não é o único factor que condiciona a não aceitação do prego pela madeira, pois, algumas espécies que não aceitaram o prego possuem poros grandes e apresentam grande quantidade de parênquima, estrutura esta que a principio devia contribuir para melhor inserção do prego na madeira.

Segundo Rammer (2010), a inserção de pregos com pré-furação na madeira garante maior resistência ao arrancamento e evita rachaduras que podem reduzir a resistência particularmente em madeiras densas.

4.2.2. Valores de resistência mecânica ao arrancamento do prego

Os resultados da determinação da humidade imediatamente depois do teste de resistência ao arrancamento de pregos indicam que os corpos de prova apresentavam a humidade esperada de $14\pm 1\%$.

Na tabela 5 são apresentados os valores médios e os coeficientes de variação da resistência ao arrancamento de pregos das três espécies estudadas. Com base no critério de Gomes (1990), pode se dizer que os dados de resistência para a madeira de pinho têm uma variação alta nos planos radial e tangencial e muito alta no plano transversal para os dois diâmetros do prego. Os da messassa comum apresentam uma dispersão alta e sem grandes diferenças nos dois pregos; apenas o plano transversal para o prego de 4,7mm apresentou uma variação média de 16,64%. Já a messassa encarnada apresenta uma dispersão media em todos os seus planos que varia de 11,07 a 16,62%.

Rammer (2010), cita que a resistência ao arrancamento dos pregos é influenciada pela densidade e humidade da madeira, assim como pelo tipo, diâmetro e profundidade de penetração do prego.

Tabela 5. Resistência ao arrancamento de pregos de três espécies em função do plano anatómico (N).

Diâmetro do prego	Espécie	Densidade (g/cm ³)	Médias por plano anatómico (N)		
			Ta	Ra	Tr
3.6	<i>Pinus taeda</i> (Sem pré-furação)	0,440	2566,13a ^A (19,83)	2363,74a ^A (28,31)	1315,00b ^A (39,58)
	<i>Brachystegia spiciformis</i> (Sem pré-furação)	0,586	1849,72a ^B (27,48)	1854,85a ^B (24,20)	1053,46b ^B (25,82)
4.7	<i>Pinus taeda</i> (Com pré-furação de 2,5mm)	0,440	2409,65a ^A (24,47)	1977,40a ^A (30,27)	1508,15b ^A (39,48)
	<i>Brachystegia spiciformis</i> (Com pré-furação de 2,5mm)	0,586	2028,20a ^A (20,30)	2096,31a ^A (21,20)	1557,08b ^A (16,64)
	<i>Julbernardia globiflora</i> (Com pré-furação de 3,5mm)	0,768	4329,92a ^B (13,71)	4406,78a ^B (11,07)	3244,59b ^B (16,62)

Médias com mesma letra minúscula na mesma linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% do nível de significância. Médias com mesma letra maiúscula para o mesmo diâmetro do prego na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si a 5% do nível de significância. Ta- Tangencial, Tr- Transversal e Ra- Radial.

A tabela 6 mostra valores de resistência ao arrancamento de pregos obtidos em outros estudos. É notável através da tabela que os valores de resistência deste estudo foram maiores em relação aos observados noutros estudos, sendo que as diferenças dos valores de resistência podem dever-se provavelmente à diferenças de densidade da madeira e do diâmetro de prego aplicado. Rammer e Mendez (2018), citam que há uma relação linear entre o diâmetro do prego e a resistência ao arrancamento do prego e, essa relação foi observada neste estudo.

Tabela 6. Comparação dos valores de resistência ao arrancamento de pregos observados neste estudo e de outros autores

Espécie	Autores	Densidade (g/cm ³)	Diâmetro do prego (mm)	Resistência ao arrancamento (N)		
				Ta	Ra	Tr
<i>Brachystegia spiciformis</i>	Presente estudo	0,586	3,6	1 849,72	1 854,85	1 053,46
<i>Junglans regia L</i>	Kiliç et al (2006)	0,560	2,5	998,32	1 001,75	767,86
<i>Jubernardia Globiflora</i>	Presente estudo	0,768	4,7	4 329,92	4 406,78	3 244,59
<i>Quercus L</i>	Kiliç et al (2006)	0,701	2,5	1 188,07	1 459,72	943,89
<i>Pinus taeda</i>	Presente estudo	0,440	3,6	2 566,13	2 363,74	1 315,00
<i>Pinus nigra Arnold</i>	Aytekin (2008)	0,496	2,5	520,80	555,50	397,00

4.2.2.1. Comparação de resistência ao arrancamento de pregos entre as espécies estudadas

Na comparação de médias referente as espécies que receberam prego de 3,6mm, observa-se diferenças estatisticamente significativas entre *P. taeda* e *B. spiciforme* em todos os planos anatómicos (Tabela 5), resultado que contrasta com alguns estudos. Nájera *et al.* (2014) afirmam que a madeira de coníferas tende a ter uma menor resistência ao arrancamento de pregos em comparação com as folhosas e estudos como de Sajdik *et al.* (2022) e Celebi e kilic (2006) comprovam essa teoria. Adicionalmente, Kiliç *et al.* (2006), afirmam que a resistência ao arrancamento de pregos aumenta com o aumento da densidade da madeira e Aytekin (2008) ao determinar a resistência ao arrancamento de pregos e parafusos em 4 espécies madeireiras com diferentes densidades, observou maiores resultados de resistência nas espécies com maior densidade básica. A baixa resistência ao arrancamento de prego de *B. spiciformis* pode estar relacionada com outros factores para além do tipo de espécie e

densidade da madeira. Segundo Akyildiz (2014), Sajdik1 *et al.* (2022), Celebi e kilic (2006) e Paula *et al.* (1988), as diferenças na resistência ao arrancamento de pregos entre espécies são influenciadas por factores anatómicos como o tipo e estrutura do parênquima, quantidade de lignina, proporção entre lenho tardio e inicial, posição e direcção das fibras, porosidade, entre outros. A porosidade e o tipo e estrutura do parênquima da messassa comum pode ter influenciado na menor resistência em comparação com o pinho. A porosidade da messassa comum é difusa e regular e essa característica pode influenciar na menor resistência ao arrancamento dos pregos dependendo da posição e do espaço entre os poros na madeira, o seu parênquima variável, paratranquial aliforme em formato losango pode criar áreas de fraqueza na madeira o que pode influenciar numa menor resistência ao arrancamento (Pula *et al.* 1988).

Quanto ao prego com diâmetro de 4,7mm, apenas *J. globiflora* mostrou diferenças estatisticamente significativas em relação a *P. taeda* e *B. spiciformis* em todos os planos. Este resultado está alinhado com as constatações de outros estudos acima mencionados, pois *J. globiflora* apresenta maior densidade em relação às outras duas espécies.

4.2.2.3. Comparação de resistência ao arrancamento de pregos entre planos anatómicos

De acordo com os resultados do teste de Tukey apresentados na tabela 5 não foram verificadas diferenças estatisticamente significativas nas médias da resistência entre os planos radial e tangencial nas três espécies para os dois tipos de prego, o que significa que a madeira das três espécies pode ser sujeita a solicitações de esforço ao arrancamento de prego dentro dos limites dos valores obtidos no presente estudo tanto no plano tangencial como no radial. Sajdik (2022) estudando a resistência ao arrancamento de prego em madeira de *Pinus sylvestris* e *Populus* spp também observou que não haviam diferenças significativas da resistência nos planos radial e tangencial.

Entretanto, os valores médios obtidos em ambos planos mostram certas tendências. Para o pinho os valores da resistência são consistentemente maiores no plano tangencial em relação ao radial tanto para prego de 3,6mm como de 4,7mm. Akyildiz (2014), avaliando a resistência ao arrancamento de pregos e parafusos, obteve maiores valores de resistência no plano tangencial em relação ao radial e aponta o arranjo das células da madeira e a orientação do ângulo das fibras como determinante na maior resistência no plano tangencial em relação

aos outros planos. Sajdik (2022) estudando a resistência ao arrancamento de prego na madeira de *Pinus sylvestris* observou maior resistência no plano tangencial e justificou que isso deve-se ao facto desse plano ser menos suscetível a rachaduras na inserção do prego devido a disposição das fibras.

Li *et al.* (2023) ao estudar a resistência ao arrancamento pinos em espécies de madeira diferentes obteve maiores valores de resistência no plano tangencial em relação ao radial e justifica que esse facto deve-se à acção nas fibras de madeira, onde no plano radial, os pregos penetraram diretamente no lenho inicial ou tardio enquanto no plano tangencial penetraram no lenho inicial e tardio de forma contínua e sucessiva causando maior fixação dos pregos na madeira. Acrescentam ainda que diferenças no teor de lignina entre as secções radial e tangencial podem ser um factor determinante na medida em que a lignina, sendo uma substância amorfa, confere à madeira resistência a deformação e o seu conteúdo na parede celular radial das fibras é maior do que o da parede celular tangencial.

Para as messassas a maior resistência ao arrancamento foi observada no plano radial para os dois tipos de prego e seguiu-se o plano tangencial. Este comportamento das messassas está alinhado com o encontrado por Aytekin (2008), Kiliç *et al.* (2022) nos seus estudos sobre a resistência ao arrancamento de pregos e parafusos de diferentes espécies de folhosas e coníferas, onde concluíram que o plano radial tende a apresentar maior resistência. A resistência no plano transversal tende a ser menor em relação aos outros planos pelo facto de que o prego é inserido em paralelo com as fibras e assim a sua fixação fica dependente da força de extrusão entre as fibras da madeira (Li *et al.* 2023, Paula *et al.* 1988; Nájera *et al.* 2014).

4.2.2.4. Comparação de resistência ao arrancamento de pregos entre pregos de tamanhos diferentes.

A tabela 7 apresenta a comparação de médias de resistência à retirada de pregos dos dois tamanhos em função da espécie e do plano anatômico. Para *P. taeda* o prego de 3,6mm apresentou maior resistência nos planos tangencial e radial que o de 4,7mm, enquanto que para messassa comum o prego de 3,6mm apresentou valores menores em todos os planos em relação ao prego de 4,7mm. Contudo, não houve diferenças significativas de resistência entre os dois tamanhos de prego em todos os planos anatómicos.

Tabela 7. comparação da resistência ao arrancamento entre pregos de diferentes diâmetros.

Espécie	Plano anatómico	Prego de 3,6	Prego de 4,7
<i>Pinus taeda</i>	Radial	2363,74a	1977,40a ¹
	Tangencial	2566,13a	1240,65a ¹
	Transversal	1315,00a	1508,15a ¹
<i>Brachystegia spiciformis</i>	Radial	1854,85a	2096,31a ¹
	Tangencial	1849,72a	2028,20a ¹
	Transversal	1053,46a	1557,08b ¹

Médias com mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste t a 5% do nível de significância. Onde ¹- é a pré-furação com diâmetro da broca de 2.5mm.

As constatações do presente estudo são diferentes das obtidas por Abdoli *et al.* (2022) que, estudando a resistência ao arrancamento de pregos com diâmetros de 3,75 e 4,16mm, verificou que o prego de 4,16mm apresentou maior resistência com uma diferença de 47,2% em relação à resistência ao prego de 3,75mm.

4.3. Avaliação teórica da resistência ao arrancamento de pregos

Observando para a Figura 16 nota-se que para madeira de pinho nos planos tangencial e radial os valores de resistência estimados pela equação de Rammer (2010) foram menores que os obtidos experimentalmente para os dois tamanhos de pregos com exceção do prego de 4.7mm no plano radial onde o valor estimado foi ligeiramente superior.

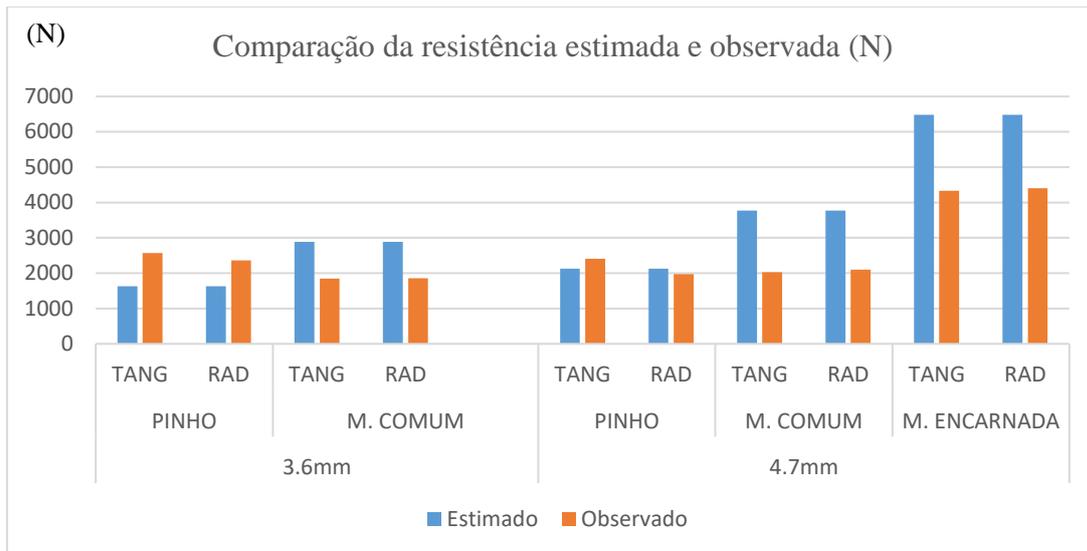


Figura 17. Gráfico comparativo dos resultados médios de resistência ao arrancamento do prego estimada e observada.

As messassas apresentaram comportamento diferente do pinho nos dois tamanhos de prego para todos os planos, onde todos os valores estimados foram maiores que os observados.

Esses resultados espelham a maior influencia que a densidade tem sobre a resistência ao arrancamento do prego em uma determinada espécie, onde a equação de Rammer (2010), tende a subestimar a resistência das espécies de baixa densidade e superestimar as de maior densidade. Segundo Rammer (2010) a equação por si proposta apresenta valores médios, onde na prática os resultados podem estar acima ou abaixo dos apresentados por esta equação e que esta superestima os valores tratando-se de espécies com densidade alta. Todavia Rammer (2010) aconselha que não se pode subestimar o potencial uso de espécies de baixa densidade, pois, mesmo apresentando baixos valores de resistência, estas têm a capacidade de suportar diferentes diâmetros e maiores quantidades de pregos sem apresentar rachas.

A equação mostra que espécies com maior densidade tendem a ter maior resistência ao arrancamento, o que pode não ser aplicável na pratica, pois, a resistência ao arrancamento é também dependente da humidade da madeira, propriedades anatómicas da madeira, tipo de prego e as condições de aplicação (Paula *et al.* 1988 e Li *et al.* 2023).

5. Conclusões e Recomendações

5.1. Conclusões

Com os resultados obtidos com o fim de satisfazer os objectivos traçados, conclui-se que:

- Os valores observados de resistência ao arrancamento de pregos das espécies *Brachistegia spiciformis*, *Julbernardia globiflora* e *Pinus taeda* seguem a tendência dos valores observados em outras literaturas, considerando a densidade de sua madeira e o diâmetro do prego usado;
- *J. globiflora* apresentou os maiores valores de resistência ao arrancamento de pregos em relação a *B. spiciformis* e *P. taeda*, enquanto que *B. spiciformis* apresentou os valores mais baixos;
- Não houve diferenças estatisticamente significativas quanto à resistência ao arrancamento de prego tanto entre pregos dos diâmetros estudados como entre os três planos anatómico considerados; e
- A equação para a estimativa da resistência ao arrancamento dos pregos mostrou tendência de superestimar a resistência das espécies com densidade mais alta e subestimar as espécies de densidade baixa.

5.2. Recomendações

Com base nos resultados do estudo, recomenda-se:

- Que se avalie a resistência ao arrancamento de pregos na madeira de messassa comum comparada ao pinho em diferentes humidades para se auferir em que humidades essa espécie apresenta melhor desempenho;
- Que se faça um estudo similar com madeira de messassa comum comparada ao pinho pregada e exposta ao ambiente, para avaliar a resistência ao arrancamento com o passar do tempo e em condições adversas.
- Que se avalie a resistência ao arrancamento de parafusos e outros elementos de ligação mecânica na madeira das messassas para avaliar a sua resistência quando solicitada a ligações com pinos metálicos.

6. Referências bibliográficas

- Abuali, N. A. (2019). Verificação da Segurança em Ligações de Madeira Com Pinos Metálicos do Tipo Pregos Conforme Nbr 7190/1997. TCC Bacharel. Universidade Federal Do Pampa. Alegrete-RS. 57p.
- Abdoli, F., Rashidi, M., Rostampour-Haftkhani, A., Layeghi, M., Ebrahimi, G. (2022). Withdrawal Performance Of Nails And Screws In Cross-Laminated Timber (CLT) Made Of Poplar (*Populus Alba*) And Fir (*Abies Alba*). *Polymers*, 14, 3129. <https://doi.org/10.3390/Polym14153129>.
- Almeida, P. A. O. (1998). Materiais de Construção Civil-Madeira Como Material Estrutural. Universidade de São Paulo. São Paulo. 141p
- Aytekin, A. (2008). Determination of Screw and Nail Withdrawal Resistance of Some Important Wood Species. *Int. J. Mol. Sci.* 2008, 9,P: 626-637. www.mdpi.org/ijms/.
- Akyıldız, M., Malkocoglu S. (2001). Wood Screw Withdrawal Resistance of Some Important Tree Species Growing In Eastern Blacksea Region. *J Artvin Forest Facul Kafkas Univ*;2(1) p.54–60.
- Akyildiz M. H. (2014). Screw-Nail Withdrawal And Bonding Strength Of Paulownia (*Paulownia tomentosa* Steud.) Wood. *J Wood Sci* 60:201–206. DOI: <https://doi.org/10.1007/S10086-014-1391-5>.
- Barbosa, S. I. F. (2015). Reforço De Ligações Tradicionais De Madeira. Dissertação de Mestrado. Universidade do Minho. Minho. 170p
- Battisti, A. P. (2017). Influência Do Ângulo De Inserção Na Resistência Ao Arrancamento De Parafuso Autoatarraxante. Monografia. Florianópolis. 58p
- Bila, N. F. (2020). Potencial Tecnológico de Madeiras de *Brachystegia spiciformis* e *Julbernardia globiflora* para Fabricação de Móveis e Molduras em Moçambique. Tese. Curitiba-PR. 110p
- Bila, N. F., Trianoski, R., Rocha, M. P., Silva, J. R., M. Iwakiri,S., Egas, A. F., Mussana, A.F., (2020). Machining Operations On Messassa Wood. *Wood Research Journal* Vol.11. No.1. p.12-19. Doi: <https://doi.org/10.1234/wrj.v11i1.469>.
- Bila, N. F., Trianoski, R., Iwakiri,S., Egas, A. F., Manhiça, A. A., Rocha, M. P. (2021). Bonding Quality Of Two Lesser-Used Wood Species *Brachystegia spiciformis* And *Julbernardia globiflora* From Mozambique. *Maderas. Ciencia Y*

Tecnología 2021 (23): 41, 1-12. <https://doi.org/10.4067/S0718-221x2021000100441>.

- Branco, J, M., Braz, R., Silva, C, V. (2011). Avaliação Experimental De Ligações Aparafusadas Em Pinho Bravo E Câmbala. 1º Congresso Ibero-Latino Americano da Madeira na Construção. Coimbra-portugal. P.1-12
- BUNSTER, J. (1995). Madeiras comerciais de Moçambique. Catálogo Tecnológico. Departamento de Engenharia Floresta-UEM. 1a edição. Maputo. 52p
- Camargo, I. S., (2018). Tratamento Térmico E Seu Efeito Na Resistência De Ligações Pregadas em Madeira de Pinus. Monografia. Seropédica, RJ. 51p
- Carneiro, N. C. B. (2021). Estudo Comparativo Dos Critérios De Dimensionamento De Ligações Em Estruturas De Madeira Considerando A Norma Europeia Eurocode 5 E A Norma Brasileira NBR 7190. MANAUS – AM. Monografia. Universidade Federal Do Amazonas. Manaus – AM. 106p.
- Centro de Estudos de Agricultura e Gestão de Recursos Naturais. (2020). Manual de Campo para a Identificação de 25 Espécies de Madeiras de Moçambique. Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal. Universidade Eduardo Mondlane. Maputo. 46p.
- Celebi, G. I., Murat Kilic, M. (2006). Nail and Screw Withdrawal Strength of Laminated Veneer Lumber Made Up Hardwood and Softwood Layers. Construction And Building Materials 21 (2007) 894–900. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.Conbuildmat.2005.12.015>.
- Chitará, S. (2003). Instrumentos para Promoção de Investimento Privado na Indústria Florestal Moçambicana. MINAG, DNFFB, Maputo. 58p.
- Egas, A. F., Nhantumbo, I. (2021). Proposta de Modelo para o Desenvolvimento Da Indústria Florestal. UTF/MOZ/123/MOZ. FAO – Moçambique. 62p.
- Egas, A. F. Klitzke, R.J. Luis, R.C.G. Uetimane Junior, E. Batista, D.C. Rocha, M.P. (2019). The Effect Of Weather On Air-Drying Of Messassa Wood. Floresta E Ambiente; 26(3): E20171151 DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.115117>.
- EN 1995-1-1 (2004) (English): Eurocode 5: Design Of Timber Structures - Part 1-1: General - Common Rules And Rules For Buildings [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC].

- Evangelista, W.V. Silva, J. De C. Della Lucia, R. M.; Lobo, L. M.; Souza, M. O. A. (2010). Propriedades Físico-Mecânicas Da Madeira De *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake No Sentido Radial E Longitudinal. Ciência Da Madeira, Pelotas, V. 01, N. 02, P. 01-19, ISSN: 2177-6830.
- Falcão, M. P. Hou-Jones, X. Macqueen, D. Li, M. (2019) 'Forest-Wise' Parks In Mozambique: The Potential For Sustainable Forest Processing Parks In Mozambique With Chinese Collaboration. International Institute for Environment and Development. <http://pubs.iied.org/13609IIED>. 32p.
- Falk, R. H., Vos, D. J., Cramer, S. J., English, B. W. (2001). Performance Of Fasteners In Wood Flour-Thermoplastic Composite Panels. Forest Products Journal Vol. 51(1):55.
- Gerard, J., Guibal, Daniel., Paradis, S., Cerre, J. (2017). Tropical Timber Atlas:Technological Characteristics and uses. Éditions Quae. RD 10. 1002p.
- Glass, S. V., Zelinka, S. L. (2021). Moisture Relations And Physical Properties Of Woods. Wood Handbook: Wood Has An Engineering Material: Chapter 4. General Technical Report FPL-GTR-282. Madison WI: U.S. Dept. Of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 583p.
- Gomes, O. F. (1997). Estudo Das Ligações Cavilhadas Impregnadas Com Resinas Estirênicas Empregadas Em Estruturas De Madeira. Tese de Doutouramento. São Carlos. 330p.
- Góes, J. L. N., Da Silva Júnior, J. (2018). Avaliação Experimental Da Resistência De Ligações Em Madeira Com Parafusos Passantes. Revista Portuguesa De Engenharia De Estruturas. Ed. LNEC. Serie III. N.O 7. ISSN 2183-8488. (Julho 2018) 65-72.
- Hilário, R. Da Silva. (2013). Dimensionamento De Estruturas Em Madeira: Metodologia E Disposições Regulamentares Relativamente A Ligações. Dissertação de Mestrado. Lisboa. 67p.
- Holz, E. (2018). Perfil Do Setor De Habitação De Moçambique. 1º Edição-UN-Habitat Maputo, Moçambique. 135p.
- Hofiço, N. Dos Santos. (2021). Potencial De Regeneração Natural E Crescimento De *Millettia stuhlmannii* Taub. Em Floresta De Miombo Como Subsídio Para O Manejo

- Sustentável. Tese de Doutorado. Universidade Federal De Santa Maria. Santa Maria, RS. 122p.
- Horvath, N. Molnár, S. Niemz, P. (2008). Untersuchungen zum Einfluss der Holzfeuchte auf ausgewählte Eigenschaften von Fichte, Eiche und Rotbuche. In Holztechnologie, 49(1): 10–15.
 - Juízo C. G.F. Rocha, M.P. Rafael, A.L. (2018). Relação Entre Modelos De Desdobro, Rendimento E Qualidade Da Madeira Serrada De *Pterocarpus angolensis*. Sci. Agrar. Parana., Marechal Cândido Rondon, V. 17, N. 2, Abr./Jun., P. 213-219.
 - Juizo, C. G. F. Loiola, P. L. Zen, L. R. Marchesan. R, Carvalho, D. E. Bila, N. F. Egas, A. F. Rocha M. P. Klitzke, R. J. (2015). Variação Radial Das Propriedades Físicas da Madeira de *Pinus patula* Plantada em Moçambique. *Pesq. Flor. Bras.*, Colombo, V. 35, N. 83, P. 285-292, Jul./Set. DOI: <https://doi.org/10.4336/2015.Pfb.35.83.771>.
 - Kan, I. 2018. Análise da influência da posição da amostra na árvore em suas propriedades físico–mecânicas. Dissertação de mestrado. Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal. UEM. Maputo. 52p.
 - Kiliç, M., Burdurlo, E., Usta, Í., Berker, U. Ö., Oduncu, P. (2006). Comparative Analysis Of The Nail And Screw Withdrawal Resistances Of Fir (*Abies mill.*), Cherry (*Prunus avium L.*), Walnut (*Juglans regia L.*) And Oak (*Quercus L.*) Wood. Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi, vol.2(2) P.61-75.
 - Korte, H., Koch, G., Krause, K.C., Koddenberg, T., Siemers, S. (2018). Wood Nails To Fix Softwoods: Characterization Of Structural Deformation And Lignin Modification. Eur. J. Wood Wood Prod. 76 (2018) 979–988, <https://doi.org/10.1007/S00107-018-1288-X>.
 - Li, De., Zhang B, Tu, Y., Xiao, G., Tian, M., Xu, X., Zhong, X., Zhang, Q., Wu, Z., & Liang J. (2023). Nail Holding Performance Of Self-Tapping Screws On Masson Pine And Chinese Fir Dimension Lumbers. JRM, Vol.11(10):-14. <https://doi.org/10.32604/Jrm.2023.027895>.

- Leonello, E. C., Ballarin, A. W., Ohto, J. M., Palma, H. A. L., Escobar, J. F. (2012). Classificacao Estrutural e Qualidade da Madeira do Clone GT 1 de *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. Floresta e Ambiente 19(2):-7
- Maia, B. B. (2016). Resistência De Ligações Pregadas Em Madeira. Trabalho De Conclusão De Curso (Bacharelado Em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal Do Paraná. Campo Mourão. 71p
- Maia, B. B., Góes, J. L. N. (2017). Resistência De Ligações Pregadas Em Madeira. In: Congresso Latino-Americano De Estruturas De Madeira, 2., E Congresso Ibero-Latino-Americano Da Madeira Na Construção, 2. Buenos Aires. Anais... Buenos Aires: Unnoba, Osm, Lat-Rilem. 12 P.
- Magalhães, T. M. (2018). Inventário Florestal Nacional. DINAF, Maputo. 101p.
- Marzoli, A. (2007). Inventario Florestal Nacional. DNTF, Maputo. 109p.
- Macave, O. A. (2019). Mapeamento Da Biomassa Lenhosa Das Florestas De Miombo Na Reserva Nacional Do Niassa. Dissertação de Mestrado. Universidade Eduardo Mondlane. Faculdade De Agronomia E Engenharia Florestal. Maputo. 101p.
- Maciel, G. O. P. Ferreira, B S. Souza, G. C. (2020). Propriedades Físicas Da Madeira Juvenil E Adulta Do *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*. 1 Seminario Online: Tecnologia e Inovacao de Produtos Florestais. 6p
- Manjate, M. J.; Massuque, J. Z. (2019). Composição Florística E Estrutura Da Vegetação Da Savana De Miombo Em Dois Ambientes Distintos No Distrito De Sanga, Norte De Moçambique. Revista Ibero Americana De Ciências Ambientais, V.10(1):77-89. [Http://Doi.Org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.001.0007](http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.001.0007).
- Melchiorretto, D. Eleotério, J. R. (2003). Caracterização, Classificação E Comparação Da Madeira De *Pinus patula*, *P. elliottii* e *P. taeda* Através De Suas Propriedades Físicas e Mecânicas. XVIII Congresso Regional De Iniciação Científica e Tecnológica. Universidade Regional de Blumenau – FURB. 6p.
- Mendes, G. M. P. (2017). Caraterização De Proveniências De *Pinus elliottii* E *Pinus taeda* Para Instalação De Ensaios De Proveniências. Dissertação De Mestrado. Escola Superior Agrária de Coimbra – ESAC. Coimbra. 104p.

- Mendes, P. M. (1994). Ligações Em Estruturas De Madeira: Tecnologia E Dimensionamento De Acordo Com A Eurocódigo 5. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto. 165p.
- Ministério da Administração Estatal. (2005). Perfil Do Distrito De Manica Provincia De Manica. Edição 2005. 67p
- Ministério da Administração Estatal. (2005). Perfil Do Distrito De Muanza Provincia De Sofala. Edição 2005. 60p.
- Ministério da Administração Estatal. (2005). Perfil Do Distrito De Cheringoma Provincia De Sofala. Edição 2005. 63p.
- Ministério da Administração Estatal (MAE). (2007). Construir Com Os Ventos – Guião De Construção Para Zonas De Risco De Ciclone. UN-HABITAT- Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos. Maputo. Moçambique. 32p.
- Ministério da Terra, Ambiente e Desenvolvimento Rural (MITADER). (2017). Exploração Sustentável da Madeira em Moçambique. Maputo. Moçambique. 16p.
- Ministério da Terra Ambiente. Direcção Nacional de Florestas. (2022). Relatório Anual De Actividades – Ano 2021. Maputo, Moçambique. 24p.
- Ministério da Terra e Ambiente . Direcção Nacional de Florestas. (2022). Avaliação de Operadores Florestais Em 2021 e Análise Comparativa dos Resultados Com as Avaliações Realizadas em 2015 e 2018. Maputo, Moçambique. 107p.
- Ministério da Educação e Desenvolvimento Humano (MINEDH). (2014). Projecto Escolas Seguras. Catálogo de Medidas Técnicas: Ciclones. 1ª Edição. Maputo, Moçambique. 33p.
- Moreschi, J. C. (2014). Propriedades Da Madeira. Departamento De Engenharia E Tecnologia Florestal Da UFPR. 1ª. Edição: Fevereiro/ 2005; 4ª Edição: Novembro/ 2012. Curitiba, PR. 208p.
- Moçambique Ciclone Idai - PDNA Avaliação das Necessidades Pós Desatres-Sector Social. (2019). 190p.
- Morales, E. A. M., Lima JR, M. P., Biazzon, J. C., Martins, J. C., Munis, R. A., Araujo, V. A., Silva, V. N., Araújo, A. T. (2017). Caracterização Físico-Mecânica da Madeira de *Eucalyptus grandis* de 10 Anos no Sentido Radial. III Congresso Brasileiro de Ciencia e Tecnologia da Madeira. 12p.

- Nájera Luna, J. A., Olivas Bejarano, J. P., Méndez González, J. (2014). Esfuerzo De Extracción De Clavos y Tornillos Para Madera En Cuatro Especies De Pino De Durango, México. Investigación Y Ciencia De La Universidad Autónoma De Aguascalientes. Número 61: 41-47.
- Nanvonamuquitxo, S. J. A, Macueia, F. B. D, Caravela. M. I. (2019). Estrutura E Diversidade De Uma Floresta De Miombo Em Taratibu, Norte De Moçambique. Cabo Delgado, Moçambique. Nativa. Sinop, V. 7(6):778-783. Pesquisas Agrárias E Ambientais. [Http://Dx.Doi.Org/10.31413/Nativa.V7i6.7198](http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v7i6.7198).
- Oyen, L.P.A. Louppe, D. (2012). Brachystegia spiciformis Benth. Prota 7(2): Timbers/Bois d'œuvre 2 Record display. Wageningen, Netherlands. 6p.
- Orwa, C. Mutua, A. Kindt, R , Jamnadass, R. Anthony, S. (2009). Agroforestry Database: A Tree Reference And Selection Guide. Version 4.0. ([Http://Www.Worldagroforestry.Org/Sites/Treedbs/Treedatabases.Asp](http://www.worldagroforestry.org/sites/treedbs/treedatabases.asp)).
- Oliveira, M. A. M. (2001). Ligações Com Pinos Metálicos Em Estruturas De Madeira. Dissertação de Mestrado. São Carlos. 138p.
- Oliveira, F. L. Lima, I. L. Florsheim, S. M. (2006). Propriedades Da Madeira De Pinus taeda Em Função Da Idade E Da Posição Radial Na Tora. Rev. Inst. Flor., São Paulo, V. 18, N. Único.59-70.
- Penteado, L. D., Bioto, C. N., Serra, S. B., Christoforo, A. L. (2021). Ligações Cavilhadas e Suas Tecnologias: Uma Revisão Sistemática da Literatura. 15p.
- Pinheiro, R. V. (1996). Emprego da Madeira do Gênero Pinus na Construção de Estruturas de Cobertura. Dissertação de Mestrado. São Carlos. 185p.
- Programa Quinquenal do Governo (PQG): 2020-2024. Maputo – Moçambique. 2020.
- Rammer, D. R. Fastenings. (2010). Wood Handbook: Wood Has An Engineering Material: Chapter 8. Centennial Ed. General Technical Report FPL; GTR-190. Madison. WI : U.S. Dept. Of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
- Rammer, D. R., Mendez, A. M. (2008). Withdrawal strength of bright and galvanized annular threaded nails. Technician USDA Forest Service Forest Products Laboratory, Madison, Wis. 59-67.

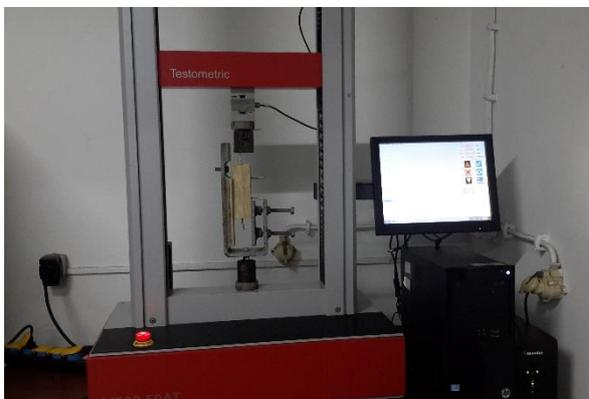
- Rammer, D. R., Winistorfer, S. G, Bender, D. A. (2001). Withdrawal Strength Of Threaded Nails. J Struct Eng 2001;127(4):442–9.
- Rammer, D. R., Zelinka, S. L. (2004). Review f End Grain Nail Withdrawal Research. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-151. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 28p.
- Ribeiro, M. L., Del Menezzi, C.H.S. Siqueira, M. L. Melo, R. R. (2018). Effect Of Wood Density And Screw Length On The Withdrawal Resistance Of Tropical Wood. Nativa, Sinop, V. 6, N. 4, P. 402-406, Jul./Ago. Pesquisas Agrárias E Ambientais DOI: <https://dx.doi.org/10.31413/Nativa.V6i4.5638>. [Http://Www.Ufmt.Br/Nativa](http://Www.Ufmt.Br/Nativa).
- Rosa, C. C. (2018). Influência De Temperaturas Elevadas E O Ângulo De Inserção Do Parafuso Na Resistência Ao Arrancamento De Parafusos Autoatarraxantes. Tese de Doutorado. Florianópolis. 179p.
- Rubim, I. B. (2005). Avaliações De Ligações Com Cavilhas, Parafusos E Cavilhas Em Peças De Madeira De *Eucalyptus spp.* Monografia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 179p.
- Sajdik, T., Fehér, S., Báder, M. (2022). Nail And Screw Withdrawal Resistance Of Scots Pine And Poplar Wood. 10TH Hardwood Conference Proceedings. DOI: <https://doi.org/10.35511/978-963-334-446-0>. p157-150.
- Siteo, A. A., Guedes, B. S E Nhantumbo, I. (2013). Linha De Referencia, Monitoria, Relatório E Verificação Para O REDD+ Em Moçambique. Relatório Do Pais IIED, Londres. <http://pubs.iiied.org/13570IIED>. 69p.
- Silva Junior, J. (2017). Experimental Evaluation Of Strength In Double Shear Bolted Timber Connections., 79 F. Trabalho De Conclusão De Curso (Bacharelado Em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal Do Paraná. Campo Mourão. 79p.
- Sousa, E. F., Ferreira, A. C. C., Menezes, M. S., Simões, E. P. (2021). Caracterização Macroscópica Da Madeira De Duas Espécies Comercializadas No Município De Itacoatiara-AM. P.244-254. <http://dx.doi.org/10.37885/210504751>.
- Sousa, R. C., Giovanini, E. P., Lima, I. L., Florsheim, S. B., Garcia, J. N. (2007). Efeito Da Idade E Da Posição Radial Na Densidade Básica E Dimensões Dos

- Traqueídeos Da Madeira De *Pinus taeda* L. Rev. Inst. Flor., São Paulo, V. 19(2): 119-127.
- Sutton, J. (2014). Mapa Empresarial De Moçambique. International Growth Centre. 188p.
 - Titos, A. A. (2013). Ajuste e Validação de Equações de Perfil de Tronco para Espécie *Pinus elliottii* Var. *Elliottii* na Floresta de Inhamacari. Trabalho de culminação de curso. Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal. UEM. Maputo. 65p.
 - Torres, E. V. (2021). Ligações Estruturais de Madeira Segundo o Novo Eurocódigo 5. Tese de doutoramento. Universidade do Minho. Minho. 138p.
 - Valadão, M., Pardim, W. (2017). A Evolução Do Pregão Na Construção Civil- Encontro De Iniciação Científica (ETIC). ISSN 21-76-8498. 15p.
 - Vivian, M. A., Júnior, M. D., Modes, K. S., Belini, U. L., Vaz, D. R. (2022). Ciclos de produção de *Pinus taeda* L. com mais de 30 anos: uma alternativa para obtenção de madeira para usos sólidos e estruturais. Ci. Fl., Santa Maria, v. 32, n. 2, p. 573-596. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509842430>.
 - Wu, R., Song, Y., Wang, Z., Li, H., Gong, M. (2024). Experimental Study On Withdrawal Resistance For A Screw In Cross-Laminated Timber-Bamboo Composite. European Journal Of Wood And Wood Products (2024) 82:1201–1211. DOI: <https://doi.org/10.1007/S00107-024-02062-6>.
 - Zanela, W. C. (2021). Plantio De Madeira para Construção Civil Enfoque na Cultura do *Pinus*. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade do Sul de Santa Catarina. 40p.
 - Zenid, G. J., Ceccantini, G. C. T. (2012). Identificação Macroscópica de Madeiras. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo. 23p.
 - Chidumayo, E. N. (2017). Biotic interactions, climate and disturbance underlie the distribution of two *Julbernardia* tree species in miombo woodlands of Africa. *Journal of Tropical Ecology*. **33**:1–11. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0266467416000584>.

- Zegarra, B. E. (2011). Caracterização da Estrutura Anatômica e da Densidade do Lenho de Árvores de *Pinu taeda* e Efeitos nas Propriedades Tecnológicas dos Painéis OSB. Dissertação. Universidade de São Paulo. Piracicaba. 122p

7. Anexos

7.1. Máquina universal de ensaios mecânicos



7.2. Densidade básica pelo método da balança



Figura 13. Ilustração da determinação da densidade da madeira estudada

7.3. Propriedades físicas avaliadas

```
. anova densidade especies
      Number of obs =      46      R-squared      = 0.8117
      Root MSE      =    .067076      Adj R-squared = 0.8029
```

Source	Partial SS	df	MS	F	Prob>F
Model	.83386145	2	.41693072	92.67	0.0000
especies	.83386145	2	.41693072	92.67	0.0000
Residual	.19346572	43	.0044992		
Total	1.0273272	45	.02282949		

```
. predict erro, residual
. swilk erro
      Shapiro-Wilk W test for normal data
```

Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
erro	46	0.97013	1.316	0.583	0.28004

```
. hetttest erro
Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity
Ho: Constant variance
Variables: erro
      chi2(1)      =    6.68
      Prob > chi2  =    0.0098
```

	Margin	Std. Err.	Tukey Groups
especies			
1	.4399375	.016769	
2	.5858	.017319	
3	.7678	.017319	

Note: Margins sharing a letter in the group label are not significantly different at the 5% level.

7.4. Resistência ao arrancamento do prego, 4.7mm na madeira de pinho

```
. anova forcad planos
      Number of obs =      60      R-squared      = 0.2875
      Root MSE      =   594.573      Adj R-squared = 0.2625
```

Source	Partial SS	df	MS	F	Prob>F
Model	8131586	2	4065793	11.50	0.0001
planos	8131586	2	4065793	11.50	0.0001
Residual	20150438	57	353516.46		
Total	28282024	59	479356.35		

```
. predict erro, residual
. swilk erro
      Shapiro-Wilk W test for normal data
```

Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
erro	60	0.96825	1.726	1.176	0.11977

	Margin	Std. Err.	Tukey Groups
planos			
1	1977.395	132.9505	A
2	2409.645	132.9505	A
3	1508.145	132.9505	

Note: Margins sharing a letter in the group label are not significantly different at the 5% level.

Figura 1 comparaco de medias entres os planos anatômicos

7.5. Resistência ao arrancamento do prego, 3.6mm na madeira de pinho

. anova força planos

Number of obs = 60 R-squared = 0.4927
 Root MSE = 570.839 Adj R-squared = 0.4749

Source	Partial SS	df	MS	F	Prob>F
Model	18040901	2	9020450.7	27.68	0.0000
planos	18040901	2	9020450.7	27.68	0.0000
Residual	18573866	57	325857.3		
Total	36614767	59	620589.27		

	Margin	Std. Err.	Tukey Groups
planos			
1	2363.735	127.6435	A
2	2566.13	127.6435	A
3	1315	127.6435	

Note: Margins sharing a letter in the group label are not significantly different at the 5% level.

7.6. Resistência ao arrancamento, messassa comum 3.6mm

. anova força planos

Number of obs = 60 R-squared = 0.4561
 Root MSE = 421.877 Adj R-squared = 0.4371

Source	Partial SS	df	MS	F	Prob>F
Model	8508600.8	2	4254300.4	23.90	0.0000
planos	8508600.8	2	4254300.4	23.90	0.0000
Residual	10144857	57	177979.95		
Total	18653458	59	316160.31		

	Margin	Std. Err.	Tukey Groups
planos			
1	1854.845	94.3345	A
2	1849.72	94.3345	A
3	1053.455	94.3345	

Note: Margins sharing a letter in the group label are not significantly different at the 5% level.

7.7. Resistência ao arrancamento, messassa comum 4.7

. anova forcad planos

Number of obs = 60 R-squared = 0.2948
 Root MSE = 380.431 Adj R-squared = 0.2701

Source	Partial SS	df	MS	F	Prob>F
Model	3449079.8	2	1724539.9	11.92	0.0000
planos	3449079.8	2	1724539.9	11.92	0.0000
Residual	8249501.2	57	144728.09		
Total	11698581	59	198281.03		

	Margin	Std. Err.	Tukey Groups
planos			
1	2096.305	85.06706	A
2	2028.195	85.06706	A
3	1557.075	85.06706	

Note: Margins sharing a letter in the group label are not significantly different at the 5% level.

7.8. Resistência ao arrancamento, messassa encarnada 4.7mm

. anova forcad planos

Number of obs = 60 R-squared = 0.5023
 Root MSE = 541.992 Adj R-squared = 0.4848

Source	Partial SS	df	MS	F	Prob>F
Model	16896976	2	8448487.9	28.76	0.0000
planos	16896976	2	8448487.9	28.76	0.0000
Residual	16744023	57	293754.79		
Total	33640999	59	570186.43		

	Margin	Std. Err.	Tukey Groups
planos			
1	4406.78	121.193	A
2	4329.915	121.193	A
3	3244.585	121.193	

Note: Margins sharing a letter in the group label are not significantly different at the 5% level.

7.9. Resistência ao arrancamento nas três espécies.

. anova forcad especies

Number of obs = 180 R-squared = 0.6986
 Root MSE = 644.935 Adj R-squared = 0.6951

Source	Partial SS	df	MS	F	Prob>F
Model	1.706e+08	2	85302739	205.08	0.0000
especies	1.706e+08	2	85302739	205.08	0.0000
Residual	73621605	177	415941.27		
Total	2.442e+08	179	1364397.1		

	Margin	Std. Err.	Tukey Groups
especies			
1	1965.062	83.26076	A
2	1893.858	83.26076	A
3	3993.76	83.26076	

Note: Margins sharing a letter in the group label are not significantly different at the 5% level.