



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

DIEGO DE SOUSA GUIMARÃES

**ANÁLISE DO TEOR DE UMIDADE E DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DA
MADEIRA DA CARNAÚBA NATURAL DO MUNICÍPIO DE MOSSORÓ - RN**

MOSSORÓ

2019

DIEGO DE SOUSA GUIMARÃES

**ANÁLISE DO TEOR DE UMIDADE E DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DA
MADEIRA DA CARNAÚBA NATURAL DO MUNICÍPIO DE MOSSORÓ - RN**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador(a): Marineide Jussara Diniz,
Prof(a) Dr(a).

MOSSORÓ

2019

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

G963 Guimarães, Diego de Sousa.
a ANÁLISE DO TEOR DE UMIDADE E DA RESISTÊNCIA
 MECÂNICA DA MADEIRA DA CARNAÚBA NATURAL DO
 MUNICÍPIO DE MOSSORÓ - RN / Diego de Sousa
 Guimarães. - 2019.
 51 f. : il.

Orientadora: Marineide Jussara Diniz.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2019.

1. Construção Civil. 2. Copernicia Prunifera.
3. Propriedades Mecânicas. I. Diniz, Marineide
Jussara, orient. II. Título.

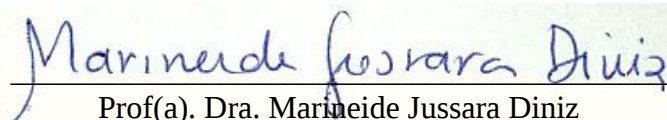
DIEGO DE SOUSA GUIMARÃES

**ANÁLISE DO TEOR DE UMIDADE E DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DA
MADEIRA DA CARNAÚBA NATURAL DO MUNICÍPIO DE MOSSORÓ – RN**

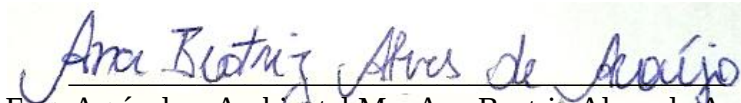
Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Aprovada em: 21/03/2019.

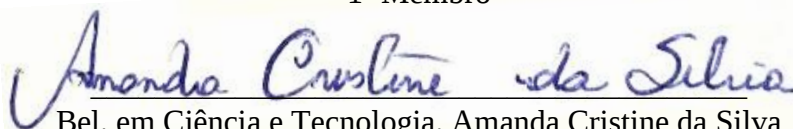
BANCA EXAMINADORA



Prof(a). Dra. Marleneide Jussara Diniz
Presidente



Eng. Agrícola e Ambiental Me. Ana Beatriz Alves de Araújo
1º Membro



Bel. em Ciência e Tecnologia. Amanda Cristine da Silva
2º Membro

AGRADECIMENTOS

Com o trabalho realizado desejo poder contribuir da melhor maneira possível com o universo acadêmico e principalmente com o ramo da ciência e tecnologia, retribuindo todo o conhecimento adquirido nessa jornada.

Agradeço a Deus por manter o incentivo e o suporte durante a realização desse trabalho, fator importante para sua concretização.

A minha família que sempre me apoiou e esteve ao meu lado, nos mais diversos momentos. Entre todos sou grato especialmente aos meus pais, Francisca Sousa e José Erenildo, pelo zelo de todos esses anos e o incentivo maior. Também ao meu irmão, Douglas Sousa, pelo seu companheirismo e sua parceria.

A minha orientadora Prof.^a. Dra. Marineide Jussara Diniz que me doou tempo, disponibilidade e, principalmente, a oportunidade de aprender.

Em especial agradeço a Amanda Cristine, por estar presente durante toda a execução deste trabalho, desde sua concepção, incentivando e compartilhando conhecimento.

Agradeço a Nôra Aires, Diretora do Departamento de Parques e Jardins de Mossoró, pela orientação e disponibilidade referente às questões ambientais.

Agradeço aos meus amigos Emanuely Oliveira, Maria Nicole, Débora Iara, Italo Jales, Isac Martins, Mateus Martins, Valteson Silva, Clinton Noberto, Artur Rocha e Yuri Moreira por me acompanharem há tanto na minha vida acadêmica, além de TODOS que de alguma forma contribuíram nesse trabalho.

Muito Obrigado!

“Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida, condutor do meu destino e meu guia, estando presente nas horas de angústia e dificuldade, ao meu pai José Erenildo, por sempre investir na minha educação, e principalmente a minha mãe Francisca Sousa, por sempre está ao meu lado, apoiando, cuidando e me dando amor.”

RESUMO

A carnaúba (*Copernicia Prunifera*) é uma palmeira nativa da região nordeste e relativamente abundante em alguns estados dessa região, inclusive no estado do Rio Grande do Norte. O uso de sua madeira nas construções de casas denominadas taipas é realizado desde os tempos remotos até os dias de hoje, provando serem resistentes ao tempo e aos efeitos da intempérie. Apesar de ser uma técnica bastante conhecida, a taipa não tem um embasamento técnico amplo da sua execução e principalmente dos materiais empregados nela, tendo em vista isso, o trabalho aqui realizado tem como objetivo caracterizar a madeira proveniente da carnaúba determinando algumas de suas propriedades físicas e mecânicas. Para a determinação de cada propriedade desejada, amostras da madeira a ser estudada foram submetidas a ensaios adaptados a partir de normas regulamentadas, como umidade e resistência mecânica. De acordo com os resultados obtidos a partir dos ensaios, foi possível determinar e realizar a avaliação da capacidade de suporte de carga tanto de compressão axial no sentido paralelo às fibras, quanto da capacidade de resistência à flexão estática do material, além do teor de umidade referente às amostras.

Palavras-chave: Construção Civil. *Copernicia Prunifera*. Propriedades Mecânicas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Trama de Madeira para a Taipa de Mão	15
Figura 2 – Execução da Taipa de Pilão	16
Figura 3 – Casa de Pau a Pique no Ceará	16
Figura 4 – Trama de Madeira	17
Figura 5 – Carnaúbas, Mossoró - RN	18
Figura 6 – Mapa de Distribuição da Carnaúba no Nordeste.....	18
Figura 7 – Paliçada de Carnaúba , Fazenda Jatobá - PI.....	18
Figura 8– Composição do Lenho.....	20
Figura 9 – Compressão Axial Paralela às Fibras	23
Figura 10 – Pilares de Madeira.....	23
Figura 11 – Pilar submetido à Compressão Axial Simples	23
Figura 12 – Vigas de Madeira em Construções Rústicas	24
Figura 13 - Flexão Atuando em Peças de Madeira.....	24
Figura 14 – Esforços internos causados por aplicações de carga em uma Viga	25
Figura 15 – Quarto de Elipse.....	26
Figura 16 – Carnaúba proveniente de propriedade privada, Bairro Bom Jesus - Mossoró.....	28
Figura 17 – Carnaúba pronta para o transporte	28
Figura 18 – Quarteamento da Tora da Carnaúba com auxílio de um Motosserra.....	29
Figura 19 – Tora quarteada com seção em formato de Quarto de Elipse.....	29
Figura 20 – Definição dos comprimentos dos Corpos de Prova com uma Serra de Mão	29
Figura 21 – Etiquetagem das Amostras.....	30
Figura 22 – Corpos de Prova para determinação das Umidades	22
Figura 23 – Identificação e pesagem das cápsulas	31
Figura 24 – Pesagem do conjunto composto por madeira úmida e cápsula.....	31
Figura 25 – Material em estufa a 104,5°C.....	32
Figura 26 – Pesagem do conjunto composto por madeira seca e cápsula	32
Figura 27 – Comparação dos Corpos de Prova sugeridos pela norma e os adotados para o Ensaio de Compressão Axial.....	34
Figura 28 – Áreas de Seção Transversal correspondentes aos Corpos de Prova submetidos à Compressão Axial	34
Figura 29 – Corpo de Prova submetido à Compressão Axial.....	35
Figura 30 – Corpos de Prova após sofrer Ruptura por Compressão Axial.....	35
Figura 31 – Comparação dos Corpos de Prova sugeridos pela norma e os adotados para o Ensaio de Flexão Estática	36

Figura 32 – Áreas de Seção Transversal correspondentes aos <u>Corpos</u> de Prova submetidos à Flexão Estática.....	37
Figura 33 – Corpo de Prova submetido à Flexão Estática.....	37
Figura 34 – Mostrador Analógico de Carga	38
Figura 35 – Representação da distância c em relação ao Centróide.....	38
Figura 36 – Diagrama de Corpo Livre (F1).....	39
Figura 37 – Diagrama de Corpo Livre (F2).....	40
Figura 38 – Diagrama de Corpo Livre (F3).....	41
Figura 39 – Diagrama de Corpo Livre (F4).....	42
Figura 40 – Diagrama de Corpo Livre (F5).....	43
Figura 41 – Diagrama de Corpo Livre (F6).....	44

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Esforço Cortante (F1).....	39
Gráfico 2 – Momento Fletor (F1).....	39
Gráfico 3 – Esforço Cortante (F2).....	40
Gráfico 4 – Momento Fletor (F2).....	40
Gráfico 5 – Esforço Cortante (F3).....	41
Gráfico 6 – Momento Fletor (F3).....	41
Gráfico 7 – Esforço Cortante (F4).....	42
Gráfico 8 – Momento Fletor (F4).....	42
Gráfico 9 – Esforço Cortante (F5).....	43
Gráfico 10 – Momento Fletor (F5).....	43
Gráfico 11 – Esforço Cortante (F6).....	44
Gráfico 12 – Momento Fletor (F6).....	44

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação de Madeiras em relação à Umidade	21
Quadro 2 – Teores de Umidade no Emprego das Madeiras	22
Quadro 3 – Dados obtidos no ensaio para determinação do Teor de Umidade.....	33
Quadro 4 – Dados obtidos no ensaio de Compressão Axial	35
Quadro 5 – Dados obtidos no ensaio de Flexão Estática.....	45
Quadro 6 – Teores de Umidade correspondentes a cada amostra	46
Quadro 7 – Tensões de Ruptura por Compressão Axial	47
Quadro 8 – Tensões de Ruptura por Flexão Estática.....	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
IFRN	Instituto Federal Do Rio Grande Do Norte
SEIMURB	Secretaria Municipal de Infraestrutura, Meio Ambiente, Urbanismo e Serviços Urbanos
NBR	Norma Brasileira
PC	Peso da Cápsula
PH	Peso do Conjunto Úmido (madeira úmida e cápsula)
PS	Peso do Conjunto Seco (madeira seca e cápsula)
Ps	Peso da Madeira Seca
h	Umidade (%)
h_{med}	Umidade média (%)
A	Área de Seção Transversal
m	Massa Aplicada
F	Força de Ruptura
σ_c	Tensão de Ruptura à Compressão
M	Momento Fletor Máximo
I	Momento de Inércia
c	Distância entre o Centróide e a fibra mais distante da peça
σ_f	Força de Ruptura à Flexão
$\sigma_{c_{med}}$	Tensão média de Ruptura à Compressão
$\sigma_{f_{med}}$	Tensão média de Ruptura à Flexão

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS.....	14
3 REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1 A TAIPA NO BRASIL	15
3.2 A TAIPA DE MÃO E DE PILÃO	15
3.3 O PAPEL DA MADEIRA NA TÉCNICA DE TAIPA DE MÃO.....	17
3.4 A MADEIRA DA CARNAÚBA NA TÉCNICA DE TAIPA	17
3.5 A IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DA MADEIRA PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL	19
3.6 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA	19
3.6.1 Fatores que alteram as propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira.....	19
3.6.2 Umidade	21
3.6.3 Resistência à Compressão Axial - Pilares (Paralela às Fibras)	22
3.6.4 Resistência à Flexão - Vigas	24
3.6.5 Esforço Cortante e Momento Fletor.....	25
3.6.6 Momento de Inércia Área de um Quarto de Elipse	25
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
4.1 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	27
4.2 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE	30
4.3 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL PARALELA ÀS FIBRAS.	33
4.4 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO	36
4.4.1 Gráficos de Momento Fletor e Esforço Cortante	38
4.4.2 Preenchimento do Quadro do Ensaio de Flexão	45
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
5.1 TEOR DE UMIDADE MÉDIO	46
5.2 RESISTÊNCIA MÉDIA À COMPRESSÃO AXIAL PARALELA ÀS FIBRAS.....	47
5.3 RESISTÊNCIA MÉDIA À FLEXÃO ESTÁTICA	48
6 CONCLUSÃO E SUGESTÕES.....	50
REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um ramo de mercado que vem se renovando a cada ano com a busca de novas técnicas de execução e uso de materiais alternativos aos convencionais, sempre visando questões econômicas assim como de sustentabilidade. Para Jornada (1993) é importante a abordagem de “novos materiais”, que não foram estudados antes, mesmo sendo materiais antigos e tradicionais, pois estes agora podem ser produzidos com um conhecimento tecnológico muito maior, com um apoio científico e com um apoio de engenharia muito mais intenso, tendo em vista que pode ser realizado um maior controle químico e estrutural dos mesmos.

A carnaúba (*copernícia prunífera*) é uma palmeira abundante na região nordeste, principalmente nos estados do Rio Grande do Norte, Ceará e Maranhão, seu uso como matéria prima para a construção civil é realizado há muito tempo em habitações de taipa que, de acordo com Lopes (1998), mesmo construídas em tempos remotos, persistem até nossos dias, desafiando a ação de intempéries e do próprio tempo, demonstrando seu potencial de uso e sua durabilidade. Lopes (1998) também acredita que não só os exemplos históricos que comprovam a viabilidade da técnica da taipa, mas também as diversas construções contemporâneas em taipa de mão localizadas em várias partes do país, onde foram respeitados procedimentos construtivos adequados, atestando a versatilidade e o excelente desempenho desta técnica. (LOPES, 1998).

Tendo em vista a empregabilidade, é perceptível a necessidade de um maior conhecimento sobre as propriedades físicas e mecânicas deste material, que há bastante tempo é usado na construção de taipas e outras estruturas, a partir do emprego das tecnologias de análise disponíveis atualmente.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a madeira em estado natural proveniente da carnaúba extraída no município de Mossoró - RN a partir dos resultados de suas propriedades tecnológicas obtidas em ensaios de laboratório orientados pela adaptação da norma técnica NBR 7190:1997.

2.3 OBJETIVO ESPECÍFICO

Determinar as seguintes propriedades da madeira extraída da Carnaúba:

- Teor de umidade;
- Resistência à Compressão Axial paralela às fibras;
- Resistência à Flexão Estática.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

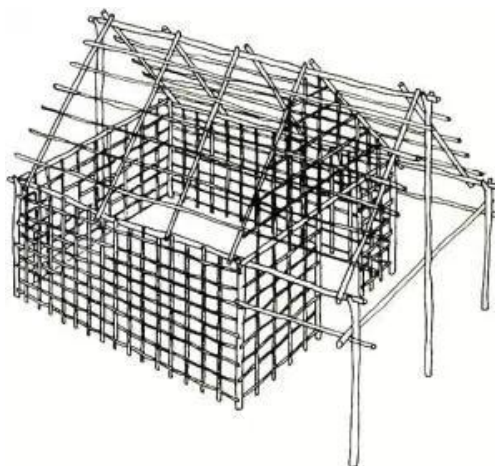
3.1 A TAIPA NO BRASIL

A taipa é uma técnica de construção que remonta a época do descobrimento quando os portugueses recém-chegados, ao não encontrarem lugar de abrigo, precisaram improvisar materiais para construir as primeiras casas e nesse processo de adaptação o barro e a madeira foram utilizados para estruturar as construções. De acordo com Pisani (2004), os negros trazidos nesse período ao Brasil detinham dos processos construtivos que se usava a terra, empregando em estruturas preenchidas com barro, que apresentavam similaridades com as técnicas de algumas tribos que aqui já viviam. Durante o início da colonização do Brasil, as diversas culturas que aqui se instalaram dominavam técnicas construtivas que utilizavam a terra como matéria-prima. A taipa executada no Brasil Colonial pode ser dividida em dois tipos: a taipa de pilão e a taipa de mão.

3.2 A TAIPA DE MÃO E DE PILÃO

Também conhecida como pau a pique e barro armado, a taipa de mão foi muito empregada em todo o país desde o início da colonização. Pisani (2004) explica que as paredes da taipa de mão feita no período colonial quase sempre faziam parte de uma estrutura de madeira bastante rígida, formada por esteios, vigas baldrames, frechais e vergas superiores e inferiores (Figura 1).

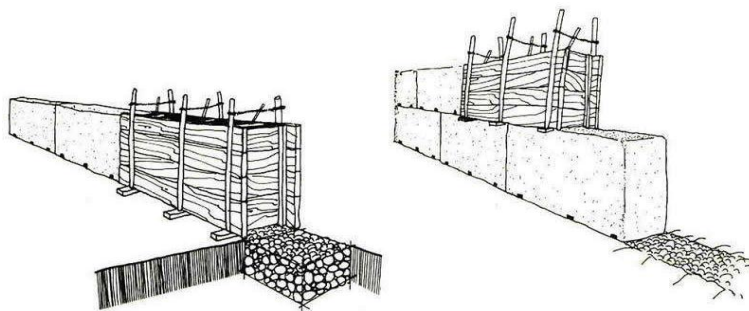
Figura 1 – Trama de Madeira para a Taipa de Mão



Fonte: BARDOU (1981).

Diferente da taipa de mão, a taipa de pilão (Figura 2) não se estrutura em uma trama de madeiras, sendo apenas o barro o componente estrutural da construção. Pisani (2004) explica que esta denominação é pelo fato da argila ser socada (apiloadada) com o auxílio de uma mão de pilão. A fôrma usada para o sustento do material durante a secagem é denominada de taipal, composta por laterais de madeira.

Figura 2 – Execução da taipa de pilão



Fonte: BARDOU (1981).

Com os avanços tecnológicos e a expansão da construção civil nas últimas décadas a técnica de taipa acabou perdendo espaço para a alvenaria, mas mesmo assim, ainda é comum observá-las em certas regiões. Pisani (2003) afirma que na atualidade as taipas de mão são empregadas nas zonas rurais de praticamente todos os estados brasileiros, compondo construções rústicas e de baixo custo. Porém a técnica atual é muito rudimentar e normalmente não possui as características das elaboradas no período colonial, a qual proporcionava mais estabilidade e durabilidade às construções. Atualmente a técnica é conhecida popularmente como pau a pique (Figura 3).

Figura 3 – Casa de Pau a Pique no Ceará



Fonte: Antônio Carlos Alves (2017).

3.3 O PAPEL DA MADEIRA NA TÉCNICA DE TAIPA DE MÃO

O termo taipa, segundo Corona e Lemos (1972), significa a utilização de solo, argila ou terra como matéria prima básica de uma construção, porém Di Marco (1984) atribui o uso de outros materiais ao termo, definindo a taipa como uma ossatura de madeira (Figura 4) ou bambu, formada por ripas horizontais e verticais, com amarração feita de tiras de couro, cipó, barbante, prego ou arame preenchidos com uma mistura de água, terra e fibras. Assim percebe-se que a madeira se configura como um importante componente da taipa, sendo responsável por estruturar toda a construção em esteios, vigas, baldrames, frechais e vergas. O uso das mais variadas espécies é realizado de acordo com a disponibilidade da matéria-prima na região.

Figura 4 – Trama de Madeira



Fonte: Site Coisas da Roca (2019).

3.4 A MADEIRA DA CARNAÚBA NA TÉCNICA DE TAIPA

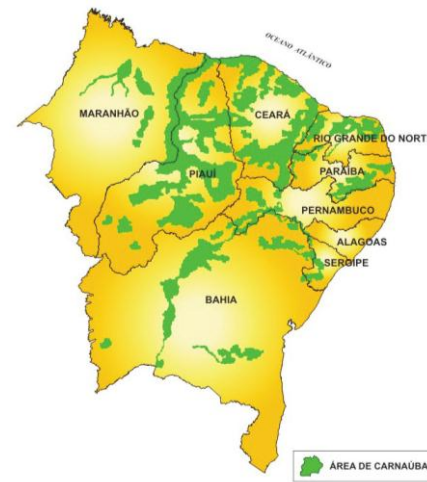
O Nordeste, por ser uma região rica em carnaúba (Figuras 5 e 6), acaba se beneficiando dessa madeira para construir suas estruturas de taipa. Para Silva (2007) os locais onde a palmeira é encontrada em abundância, acabam por favorecer sua utilização na fabricação de residências e, diferente da taipa de mão com madeiras convencionais, a taipa de carnaúba não só utiliza a armação com o madeiramento na vertical e horizontal mas também um sistema conhecido como paliçada (Figura 7) onde os troncos de madeira são cravados na vertical e em espaçamentos mínimos para posteriormente a estrutura ser preenchida com barro.

Figura 5 – Carnaúbas, Mossoró - RN



Fonte: Autoria Própria (2019).

Figura 6 – Mapa de Distribuição da Carnaúba no Nordeste



Fonte: Site Sfiec (2019).

Figura 7 – Paliçada de Carnaúba , Fazenda Jatobá - PI



Fonte: Silva (2007).

Apesar de ser usada há bastante tempo na técnica de taipa, a carnaúba acaba por não ter um maior embasamento científico que possa caracterizá-la mediante suas propriedades tecnológicas, o que é importante para definir a sua empregabilidade na construção civil. Para Zenid (2002) esse estudo pode variar de acordo com o meio ambiente em que a árvore se desenvolve, pois o fato da madeira resultar do crescimento de um ser vivo pode implicar em variações de suas características anatômicas, físicas e mecânicas.

3.5 A IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DA MADEIRA PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL

A madeira é um material comum na construção civil sendo utilizada em esquadrias, estruturas de cobertura, forros e pisos, logo com uma vasta aplicação é necessário que estudos referentes às suas características sejam realizados para assegurar sua empregabilidade. Zenid (2002) afirma que a madeira possui diversas propriedades que acabam por torná-la atraente frente a outros materiais. Entre os atraentes desse material destaca-se o baixo consumo de energia para seu processamento, a alta resistência específica, as boas características de isolamento térmico e elétrico, além de ser um material muito fácil de ser trabalhado manualmente ou por máquinas.

3.6 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA

As madeiras são matérias-primas naturais muito empregadas no ramo da construção civil, tanto na composição de telhados como na composição estrutural das edificações (vigas e pilares). A utilização desse material acaba variando de acordo com a finalidade desejada, logo devem apresentar características físicas que atendam as necessidades de uso. Bauer (1994) afirma que a condução de escolha da madeira só é feita conhecendo os valores médios que definem seu comportamento físico e sua resistência às solicitações mecânicas. Esse conhecimento é indispensável e adquirido com ensaios de qualificações de amostras de madeira das espécies em questão.

3.6.1 Fatores que alteram as propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira.

Na sua literatura, Bauer (1994) atribui à alguns fatores a responsabilidade de afetar as propriedades físicas da madeira, dividindo-os em naturais e tecnológicos.

São fatores naturais:

- a) A espécie botânica da madeira - Sua estrutura anatômica e composição do tecido lenhoso são os primeiros responsáveis pelo comportamento físico-mecânico do material.
- b) A massa específica do material - A relação de peso por unidade de volume é um índice que avalia a concentração de material no tecido lenhoso, logo está estritamente relacionada às outras propriedades do material.
- c) Localização da peça no lenho - Os ensaios de resistência sofrerão alterações de acordo com a região (Figura 8) a qual os corpos de prova foram extraídos (cerne, alburno, próximo às raízes, etc).
- d) A presença de defeitos - Nós, fendas e torções nas fibras, dependendo da distribuição, dimensão e localização pode provocar anomalias no comportamento físico mecânico do corpo de prova.
- e) Umidade - A impregnação de umidade pode gerar alterações profundas nas propriedades da madeira, que apresenta o máximo de sua resistência mecânica quando seca completamente e o mínimo quando completamente saturada.

Figura 8– Composição do Lenho



Fonte: Autoria Própria (2019).

Os **fatores tecnológicos** são decorrentes da execução dos ensaios como: a forma e as dimensões dos corpos de prova, orientação das solicitações em relação às fibras e a velocidade de aplicação das cargas nos ensaios.

3.6.2 Umidade

Mesmo depois de extraída, a madeira ainda concentra em seu interior a água em três condições: constituição, impregnação e de forma livre.

Bauer (1994) explica que água de constituição está em combinação química com outros constituintes do material lenhoso, logo não pode ser eliminada com a secagem. Quando o material está apenas com a umidade constituinte diz-se que está completamente seca, ou seca em estufa. Para isso basta que fique um tempo na estufa aquecido entre as temperaturas de 100-150°C.

A água de impregnação é aquela infiltrada nas paredes das células lenhosas provocando o inchamento dessas paredes, alterando o volume da peça de madeira. Quando há uma saturação de água de impregnação nas paredes das células, a água começa a encher os vazios capilares e torna-se livre. BAUER (1994).

No que se refere ao teor de umidade em madeiras, são determinadas as seguintes condições (Quadro 1):

Quadro 1 - Classificação de Madeiras em reação à umidade

Condição da Madeira	Teor de Umidade
Verde	Acima de 30%
Semi-Seca	Acima de 23% e abaixo da saturação
Comercialmente Seca	Entre 18 e 23%
Seca ao Ar	Entre 13 e 18%
Dessecada	Entre 0 e 13%
Completamente Seca	0%

Fonte: BAUER (1994).

A determinação do teor de umidade em laboratório é realizada pesando os corpos de prova em “situação natural”, seco ao ar após a extração (Ph) e na condição de seco em estufa a 100-150°C (Ps). O teor de umidade é determinado pela equação 1:

$$h (\%) = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100. \quad (1)$$

A umidade está estritamente relacionada à retração e ao inchamento da madeira, fatores que podem prejudicar o desempenho de peças de serviço, gerando empenamentos e o surgimento de tensões internas em peças estruturais. Bauer (1994) afirma ser indispensável que o emprego da madeira seja com o mais seco teor de umidade possível. Para auxiliar o uso adequado das madeiras conforme o ambiente de emprego, o Quadro 2 foi elaborado.

Quadro 2 - Teores de Umidade no Emprego das Madeiras

<i>Tipo de Construção</i>	<i>Teor de Umidade Correspondente</i>		<i>Correspondente secagem a realizar</i>
Construções submersas, pilotis, pontes, açudes, etc.	30%	Madeira saturada de água, acima do ponto de saturação do ar	
Construções expostas à umidade, não cobertas e não abrigadas: torres, cimbres etc.	18 a 23%	Madeira úmida, também dita “comercialmente seca”	Secagem parcial no canteiro de obras
Construções abrigadas em local coberto mas largamente aberto: hangares, telheiros etc.	16 a 20%	Madeiras relativamente secas	Secagem no canteiro ou secagem artificial sumária
Construções em locais fechados e cobertos: carpintaria de telhados e entrepisos	13 a 17%	Madeiras “secas ao ar”	Secagem natural ou artificial até aproximadamente 15%
Empregos em locais fechados e aquecidos	10 a 12%	Madeiras bem/secas	Secagem artificial
Empregos em locais com aquecimento artificial	8 a 10%	Madeiras dessecadas	Secagem artificial

Fonte: BAUER (1997).

3.6.3 Resistência à Compressão Axial - Pilares (Paralela às Fibras)

As madeiras, assim como os demais materiais (aço, concreto, etc.) empregados de forma estrutural na construção civil sofrem solicitações mecânicas de compressão, porém os casos mais comuns dessas solicitações ocorrem quando a compressão se orienta de forma paralela às fibras, com maior resistência (Figura 9). Segundo Ritter (1990), a madeira pode ser submetida à compressão paralelamente, perpendicularmente ou de forma angular referente às fibras. Quando a compressão é aplicada paralelamente ao grão, produz estresse que deforma (encurta) as células da madeira ao longo do seu eixo longitudinal.

Figura 9 – Compressão Axial Paralela às Fibras



Fonte: Autoria Própria (2019).

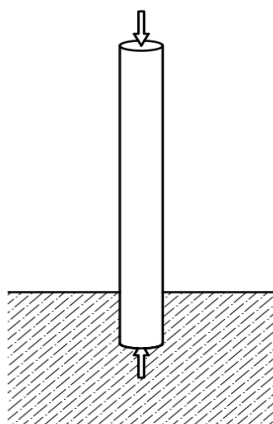
Scadelai e Pinheiro (2005) definem os pilares (Figuras 10 e 11) como elementos estruturais lineares de eixo reto, dispostos comumente na vertical, em que as forças normais de compressão são preponderantes e cuja função principal é receber as ações atuantes nos diversos níveis e conduzi-las até as fundações. Na técnica de taipa, estas estruturas são enterradas com tratamento na sua base para evitar a ação da umidade do solo.

Figura 10 – Pilares de Madeira



Fonte: Setor Vidreiro (2019).

Figura 11 – Pilar submetido à Compressão Axial Simples



Fonte: Autoria Própria (2019).

3.6.4 Resistência à Flexão - Vigas

As vigas de madeira são estruturas ainda muito usadas tanto em construções de baixo custo (pau a pique) como de alto poder aquisitivo (Figura 12), denominadas rústicas, onde a resistência e estética são altamente valorizadas.

Figura 12 – Vigas de Madeira em Construções Rústicas

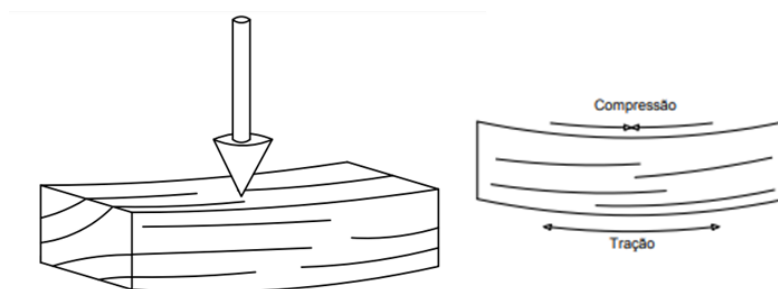


Fonte: Site Homify.

Pinheiro et al. (2003) definem as vigas como elementos lineares em que a flexão é preponderante, logo os esforços predominantes são o momento fletor e a força cortante. Em edifícios, as vigas servem de apoio para lajes e paredes, conduzindo suas cargas até os pilares.

Devido às altas solicitações de cargas as quais são submetidas, as vigas devem apresentar uma alta resistência à flexão, esforço físico que submete as peças de madeira em balanço tanto ao esforço de tração, em sua base, como de compressão na parte superior. Ritter (1990) explica que a atuação da carga de flexão em espécies de madeira faz um lado do eixo neutro sofrer tração paralelamente às fibras, enquanto o outro lado sofre compressão nesse mesmo sentido (Figura 13).

Figura 13 - Flexão Atuando em Peças de Madeira



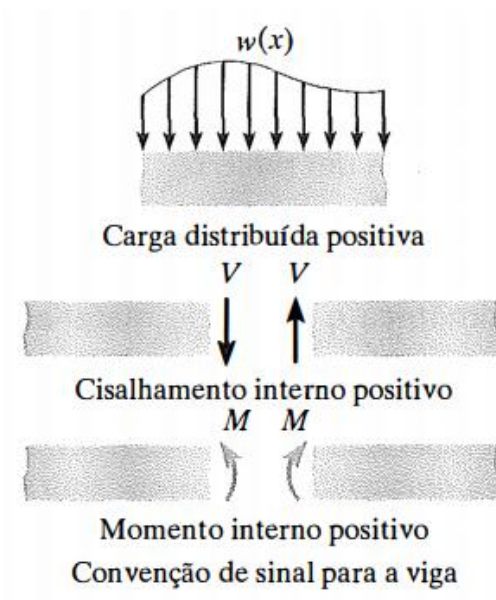
Fonte: Autoria Própria (2019).

3.6.5 Esforço Cortante e Momento Fletor

Devido aos carregamentos aplicados, as vigas acabam por desenvolver uma força de cisalhamento interna denominada força cortante além de um momento fletor que, em geral, variam de ponto para ponto ao longo do eixo da peça (Figura 14). HIBBELER (2010).

Hibbeler (2010) afirma que para projetar uma viga corretamente é necessária a determinação da força de cisalhamento e o momento máximos que agem nela, assim pode-se conhecer os limites de funcionamento da peça.

Figura 14 - Esforços internos causados por aplicações de carga em uma Viga



Fonte: HIBBELER (2010).

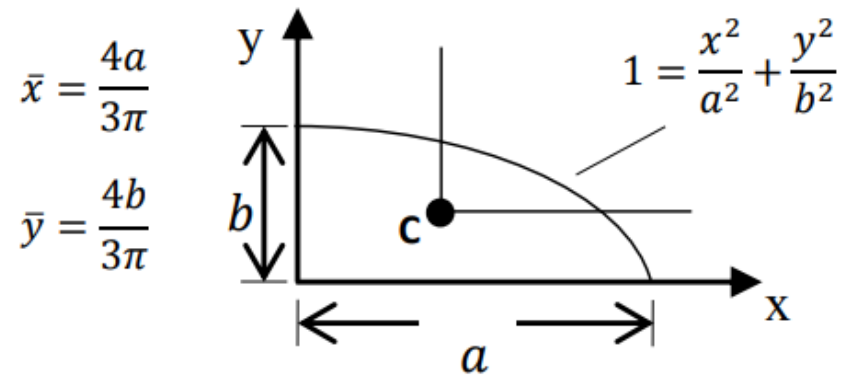
3.6.6 Momento de Inércia Área de um Quarto de Elipse

O momento de inércia é uma grandeza que mede a resistência à flexão que as vigas oferecem, variando de acordo com a geometria da seção transversal destas. Silva (2010) o define como uma propriedade de uma seção plana de um corpo, que tem relação com a resistência à deformação.

Em áreas correspondentes a quartos de elipse (Figura 15), o momento de inércia em torno do eixo-x (I_x) é dado pela equação 2:

$$\bar{I}_x = 0,05488ab^3 \quad (2)$$

Figura 15 - Quarto de Elipse



Fonte: Adaptado de HIBBELER.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização dos ensaios propostos, foi necessária uma adaptação da NBR 7190:1997 devido às limitações do equipamento disponível tanto para a realização dos ensaios quanto para a confecção dos corpos de provas. Neste caso, as seções transversais das amostras que por norma deveriam ser retangulares e com dimensões específicas tiveram que ser confeccionadas em formato de quarto de elipse, com variação nas suas respectivas áreas. Cada modificação realizada será detalhada posteriormente nos tópicos referentes a cada ensaio realizado.

Os equipamentos necessários para a realização dos testes de resistência foram disponibilizados pelo Instituto Federal do Rio Grande do Norte - Campus Mossoró. O técnico de laboratório de construção civil do instituto ficou responsável pelo manuseio do equipamento para evitar qualquer tipo de acidente.

4.1 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Para a aquisição do material para estudo foi realizado previamente um contato com o órgão ambiental de Mossoró, a Secretaria Municipal de Infraestrutura, Meio Ambiente, Urbanismo e Serviços Urbanos (SEIMURB), para averiguar as questões legais sobre a extração da amostra. A diretora do departamento de Parques e Jardins informou que a madeira utilizada para a confecção dos corpos de prova, por ser nativa e protegida por lei, não poderia ser retirada de mata nativa, ou margens de rio e corpos de água, assim foi orientado que a aquisição fosse feita a partir de propriedade privada, mediante doação do proprietário.

Tendo em vista as limitações legais propostas pela equipe de licenciamento ambiental da cidade, a diretora contatou um proprietário de terras residente no bairro Bom Jesus que se propôs a doar o material que já se encontrava derrubado em sua propriedade há 12 dias, e cortado em comprimentos de 2 metros. No dia 15 de fevereiro o transporte de três toras do material doado foi realizado para a serraria da UFERSA (Figuras 16 e 17).

As condições climáticas do dia do transporte foram de temperatura média igual a 28°C e a umidade relativa do ar média em 83% (*accuweather*,2019). No dia dos testes mecânicos, a temperatura média foi de 29°C e umidade relativa do ar média de 81%.

Figura 16 - Carnaúba proveniente de propriedade privada, Bairro Bom Jesus - Mossoró



Fonte: Autoria Própria (2019).

Figura 17 - Carnaúba pronta para o transporte



Fonte: Autoria Própria (2019).

Com o material em mãos, foi necessária uma autorização da UFERSA (ordem de serviço) para o uso dos equipamentos de marcenaria da instituição na confecção dos corpos de prova. Feito isso, os marceneiros com o auxílio de uma motosserra “quartearam” as toras de madeira (Figuras 18 e 19) para posteriormente serem definidos os comprimentos com um arco de serra e a etiquetagem das amostras (Figuras 20 e 21).

Figura 18 - Quarteamento da Tora da Carnaúba com auxílio de um Motosserra



Fonte: Autoria Própria (2019).

Figura 19 - Tora quarteada com seção em formato de Quarto de Elipse



Fonte: Autoria Própria (2019)

Figura 20 - Definição dos comprimentos dos Corpos de Prova com uma Serra de Mão



Fonte: Autoria Própria (2019).

Figura 21 - Etiquetagem das Amostras



Fonte: Autoria Própria (2019).

4.2 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE

Para a determinação da umidade, foram retiradas duas amostras de cada tora de madeira adquirida (totalizando seis amostras, o mínimo exigido pela norma), para uma maior representatividade no experimento. A NBR guia (7190:1997) indica corpos de provas em formato de paralelepípedo, com dimensões nominais de 2,0 cm x 3,0 cm e comprimento de 5,0 cm, porém com as limitações do equipamento de serragem disponível as amostras foram amorfas, variando seus tamanhos e formatos (Figura 22). A balança digital utilizada no ensaio tem precisão de 0,001 g.

Figura 22 - Corpos de Prova para determinação das Umidades



Fonte: Autoria Própria (2019).

- O ensaio iniciou-se com a identificação das cápsulas metálicas, usadas para pesar o material e colocá-los na estufa. Cada cápsula foi enumerada e pesada (Figura 23), tendo os valores correspondentes anotados (PC).

Figura 23 - Identificação e pesagem das cápsulas



Fonte: Autoria Própria (2019).

- Posteriormente as amostras foram dispostas nas cápsulas e o conjunto madeira úmida e cápsula foi pesado (PH) (Figura 24). Após a pesagem o conjunto foi colocado em estufa à temperatura de $103\pm 2^{\circ}\text{C}$, como indica a norma (Figura 25).

Figura 24 - Pesagem do conjunto composto por madeira úmida e cápsula



Fonte: Autoria Própria (2019).

Figura 25 - Material em estufa a 104,5°C



Fonte: Autoria Própria (2019).

- Os corpos de provas foram pesados em intervalos de tempo até adquirirem massa constante, configurando o material completamente seco. Após isso os conjuntos foram pesados novamente (Figura 26), para se obter os respectivos pesos secos (PS).

Figura 26 - Pesagem do conjunto composto por madeira seca e cápsula



Fonte: Autoria Própria (2019).

Com os valores obtidos em laboratório, foi elaborado o seguinte quadro:

Quadro 3 - Dados obtidos no ensaio para determinação do Teor de Umidade

Identificação	cap 01	cap 02	cap 03	cap 04	cap 05	cap 06
PC - Peso da Cápsula (g)	11,772	12,887	12,866	11,652	11,917	11,745
PH - Peso do Conjunto Úmido (g)	236,326	147,242	145,890	118,716	69,603	101,475
PS - Peso do Conjunto Seco (g)	209,890	131,754	130,646	107,882	63,119	91,093
Ps - Peso da Madeira Seca (g)	198,118	118,867	117,780	83,578	51,202	79,348

Fonte: Autoria Própria (2019).

Onde:

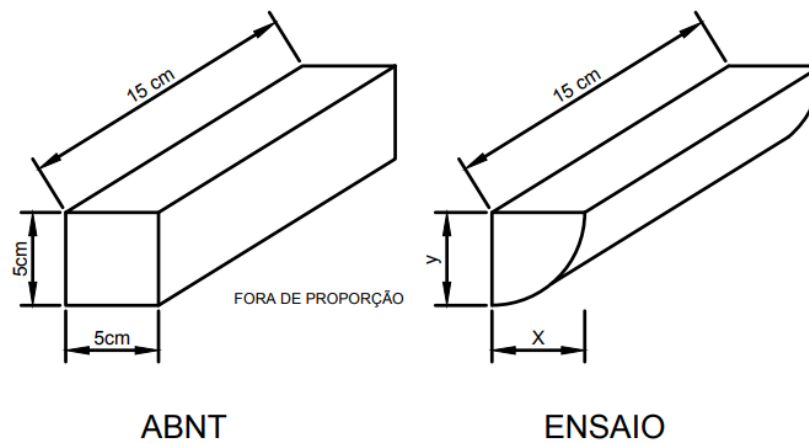
$$\text{Peso da Madeira Seca (Ps)} = \text{PS} - \text{PC}. \quad (3)$$

$$\text{Umidade (h\%)} = \frac{\text{PH} - \text{PS}}{\text{Ps}} \times 100. \quad (4)$$

4.3 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL PARALELA ÀS FIBRAS.

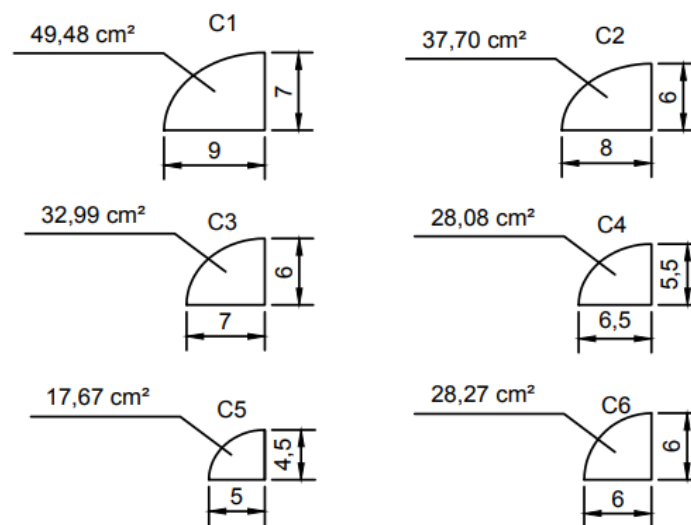
Para o ensaio de compressão, foram retiradas duas amostras de cada tora da madeira adquirida (totalizando seis amostras, o mínimo exigido por norma), para uma maior representatividade no experimento. A NBR guia (7190:1997) indica corpos de provas em formato de paralelepípedo, com dimensões nominais de 5,0 cm x 5,0 cm e comprimento de 15,0 cm, porém com as limitações do equipamento de serragem disponível as amostras de ensaio tiveram seções nominais em formato de quarto de elipse, variando seus tamanhos (Figuras 27 e 28).

Figura 27 - Comparação dos Corpos de Prova sugeridos pela norma e os adotados para o Ensaio de Compressão Axial



Fonte: Autoria Própria (2019).

Figura 28 - Áreas de Seção Transversal correspondentes aos Corpos de Prova submetidos à Compressão Axial



Fonte: Autoria Própria (2019).

Cada corpo foi submetido à compressão estática (Figura 29) em velocidade variável de acordo com as rotações da manivela feita pelo operador até a ruptura da peça (Figura 30). O valor da massa submetida para romper o corpo foi apresentado por um mostrador digital em unidade de toneladas (ton).

Figura 29 - Corpo de Prova submetido à Compressão Axial



Fonte: Autoria Própria (2019).

Figura 30 - Corpos de Prova após sofrer Ruptura por Compressão Axial



Fonte: Autoria Própria (2019).

Cada valor de massa necessária para a ruptura foi identificado (Quadro 4) de acordo com a numeração da etiqueta do corpo de prova e suas áreas de seção correspondentes calculadas por software (*autocad*).

Quadro 4 - Dados obtidos no ensaio de Compressão Axial

Corpo de Prova	C1	C2	C3	C4	C5	C6
A - Área de Seção Transversal (cm ²)	49,48	37,70	32,99	28,08	17,67	28,27
m - Massa Aplicada (Ton)	15,78	8,62	8,22	6,82	3,28	8,42
F - Força de Ruptura (kN)	154,80	84,56	80,44	66,90	32,18	82,60

Fonte: Autoria Própria (2019).

Onde:

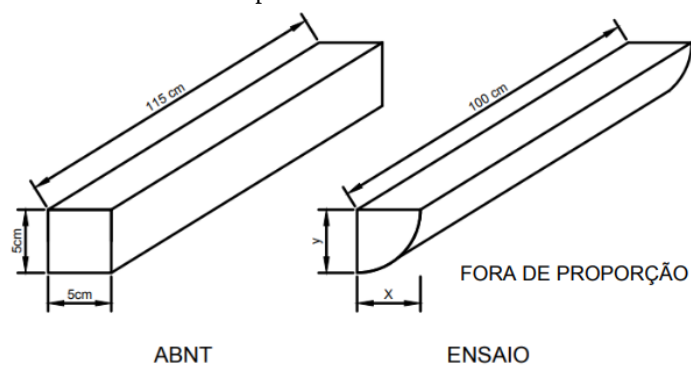
$$\text{Força de Ruptura (F)} = \mathbf{m.g \text{ (N)}}. (5)$$

$$\text{Tensão de Ruptura à Compressão } \sigma_{rc} = \mathbf{F/A \text{ (Pa)}}. (6)$$

4.4 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO

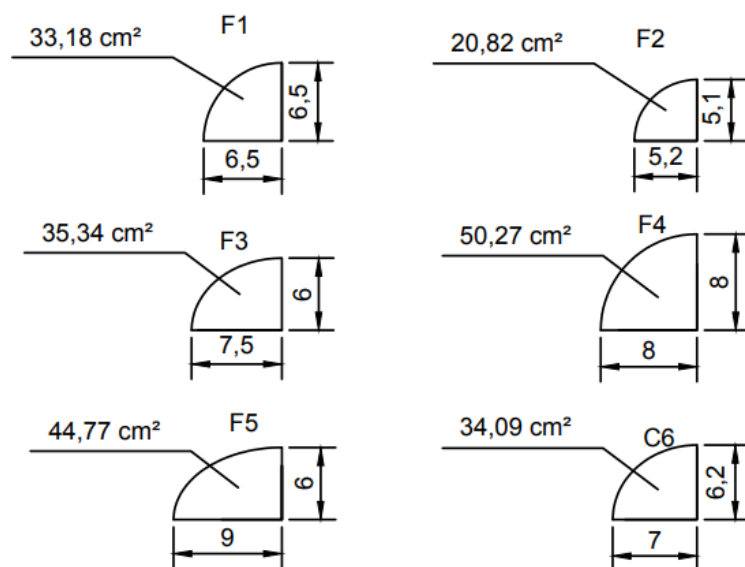
Para o ensaio de flexão, assim como nos ensaios anteriores foram retiradas duas amostras de cada tora de madeira adquirida (totalizando seis amostras, o mínimo exigido por norma), para uma maior representatividade no experimento. A NBR guia (7190:1997) indica corpos de provas em formato de paralelepípedo, com dimensões nominais de 5,0 cm x 5,0 cm e comprimento de 115,0 cm, porém com as limitações do equipamento de serragem disponível as amostras de ensaio tiveram seções nominais em formato de quarto de elipse, variando seus tamanhos (Figuras 31 e 32).

Figura 31 - Comparação dos Corpos de Prova sugeridos pela norma e os adotados para o Ensaio de Flexão Estática



Fonte: Autoria Própria (2019).

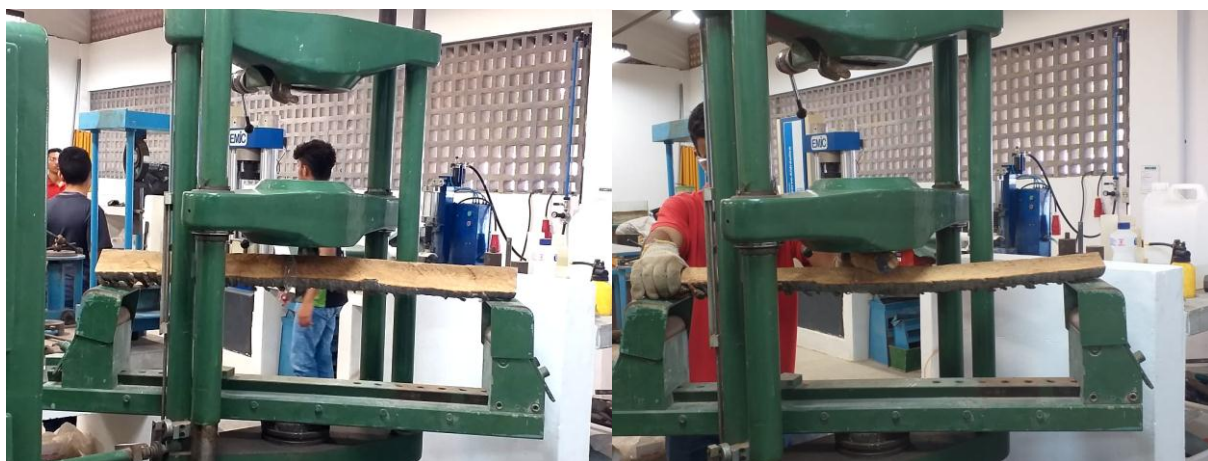
Figura 32 - Áreas de Seção Transversal correspondentes aos Corpos de Prova submetidos à Flexão Estática.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Cada corpo foi submetido à flexão estática simples (Figura 33) com velocidade constante de 10 mm/min até a ruptura da peça. Cada valor de massa necessária para a ruptura foi associada (Quadro 5) de acordo com a numeração da etiqueta do corpo de prova e suas áreas de seção correspondentes calculadas por software (*autocad*). O mostrador analógico do aparelho de flexão (Figura 34) mede cargas de até 2 toneladas (2000kg).

Figura 33 - Corpo de Prova submetido à Flexão Estática



Fonte: Autoria Própria (2019).

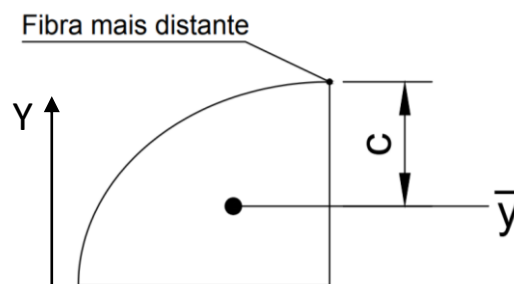
Figura 34 – Mostrador Analógico de Carga



Fonte: Autoria Própria (2019).

O momento de inércia (I) de cada peça foi calculado pela expressão $I_x = 0,05488ab^3$ a partir das seções mostradas na figura 32, assim como a distância c entre o centroide ($\bar{y} = 4b/3\pi$) da área e a fibra mais distante na direção Y (Figura 35).

Figura 35 - Representação da distância c em relação ao Centróide



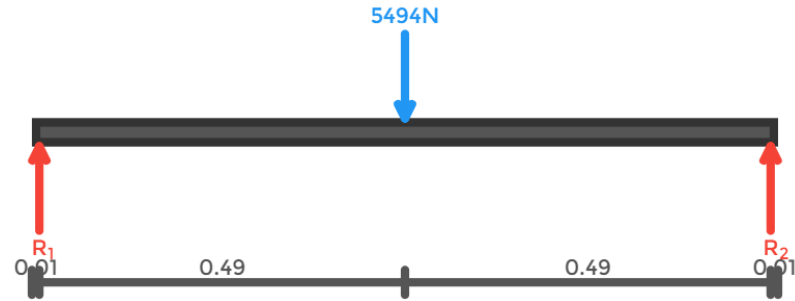
Fonte: Autoria Própria (2019).

4.4.1 Gráficos de Momento Fletor e Esforço Cortante

Para o cálculo dos momentos fletores máximos cada corpo de prova teve seus respectivos diagramas de corpo livre elaborados, e a partir deles os gráficos de esforço cortante e momento fletor foram plotados.

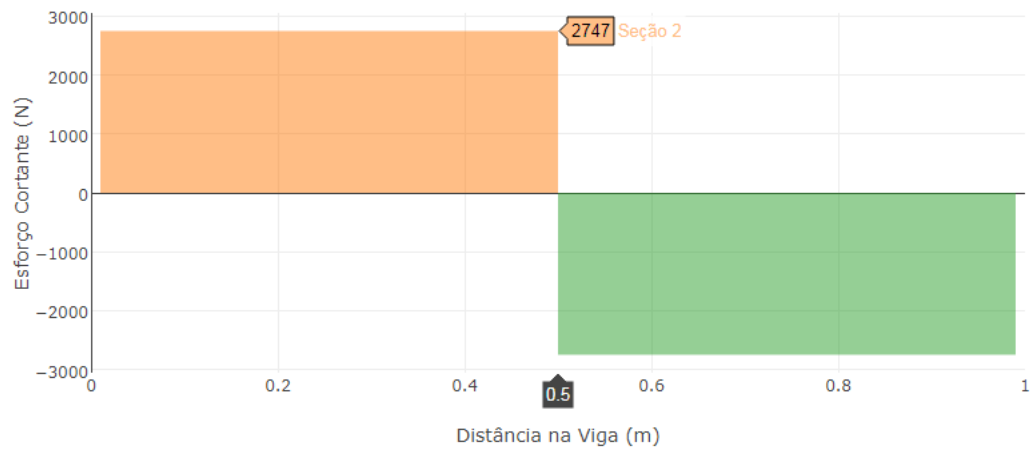
- Corpo de Prova F1

Figura 36 - Diagrama de Corpo Livre (F1)



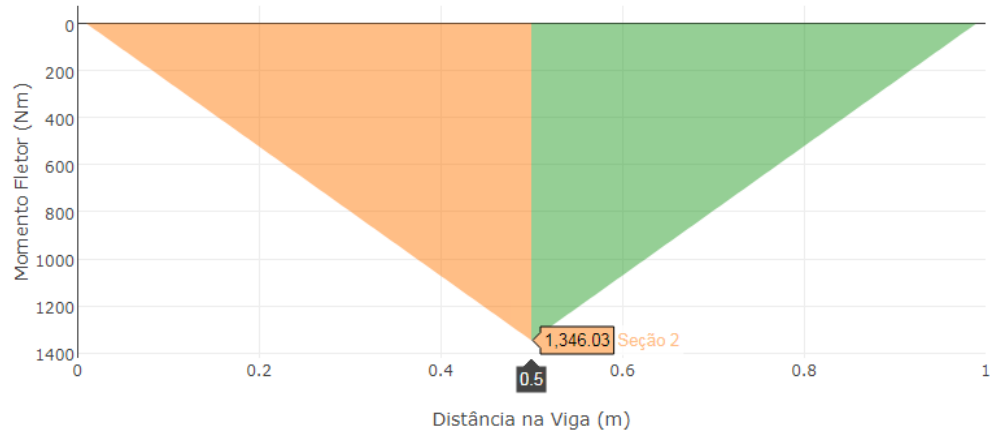
Fonte: Site Viga Online (2019).

Gráfico 1 - Esforço Cortante (F1)



Fonte: Site Viga Online (2019).

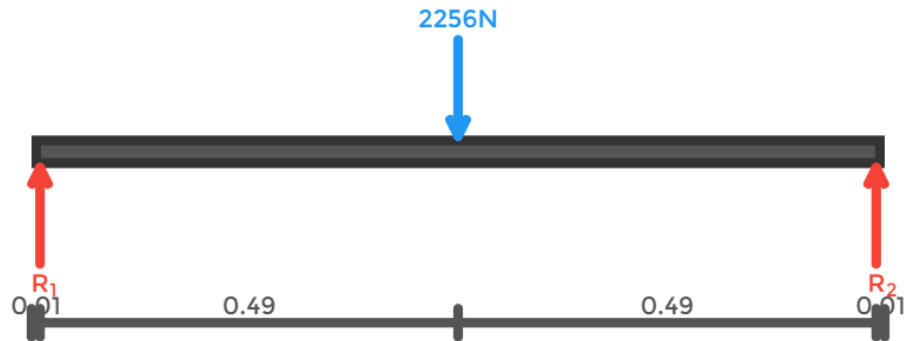
Gráfico 2 - Momento Fletor (F1)



Fonte: Site Viga Online (2019).

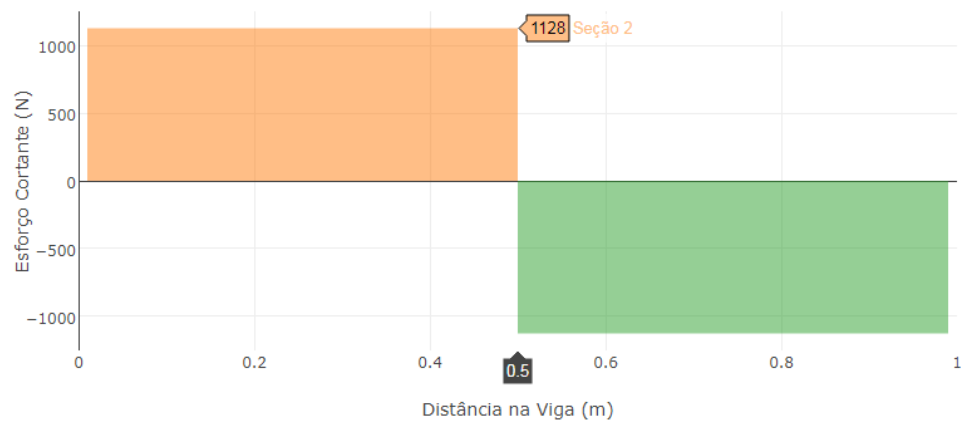
- Corpo de Prova F2

Figura 37 - Diagrama de Corpo Livre (F2)



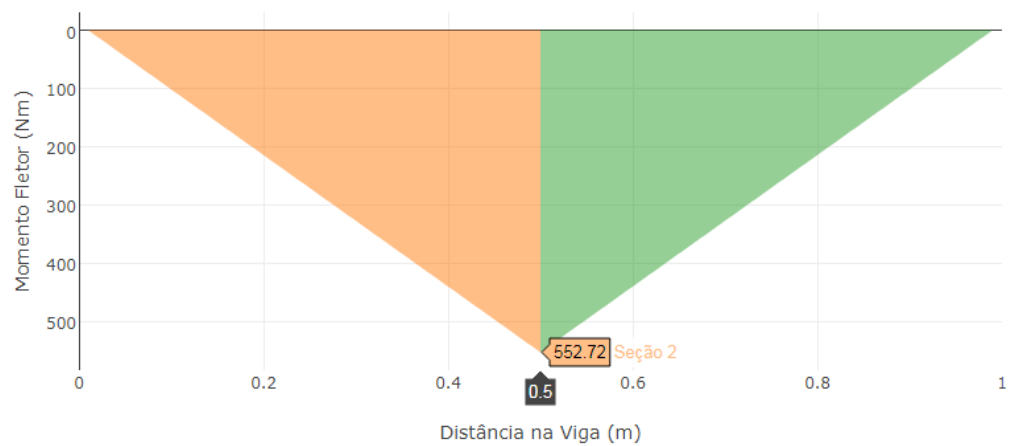
Fonte: Plotado em <http://www.viga.online>. Acesso em 08/03/2019.

Gráfico 3 - Esforço Cortante (F2)



Fonte: Site Viga Online (2019).

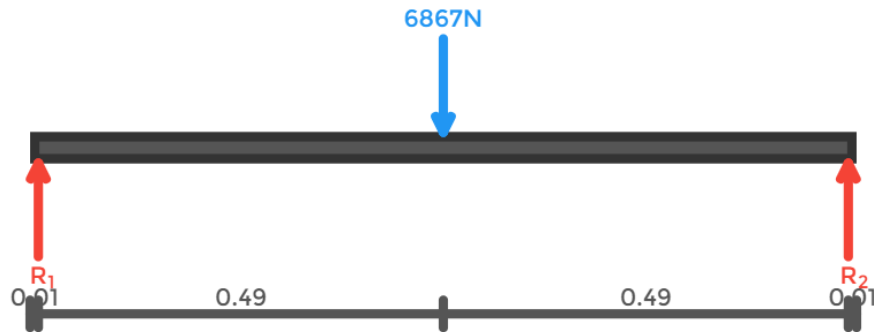
Gráfico 4 - Momento Fletor (F2)



Fonte: Site Viga Online (2019).

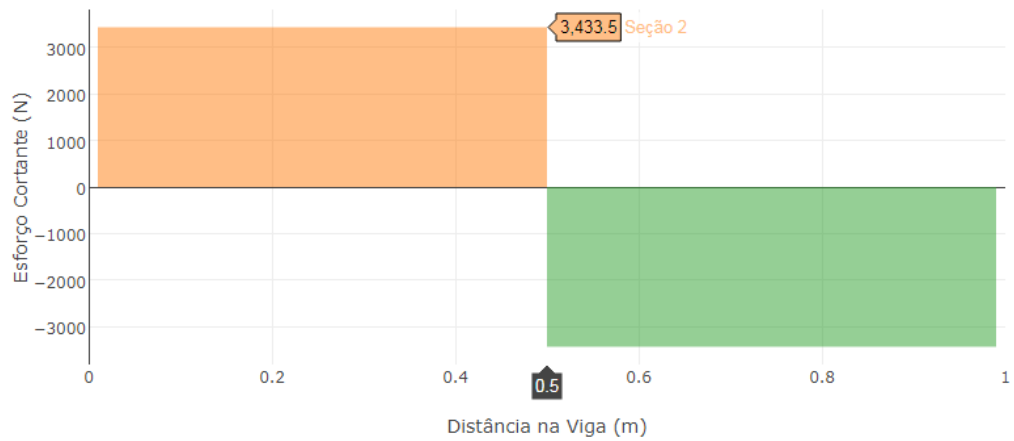
- Corpo de Prova F3

Figura 38 - Diagrama de Corpo Livre (F3)



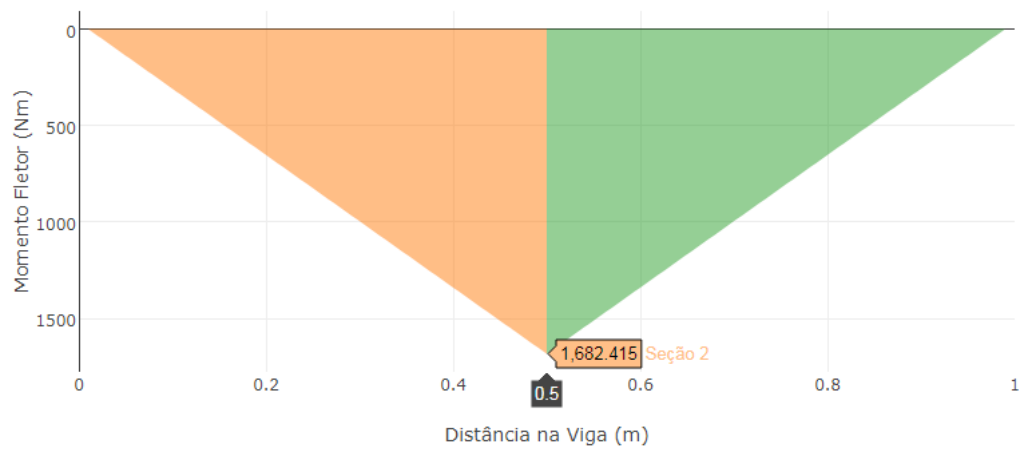
Fonte: Site Viga Online (2019).

Gráfico 5 - Esforço Cortante (F3)



Fonte: Site Viga Online (2019).

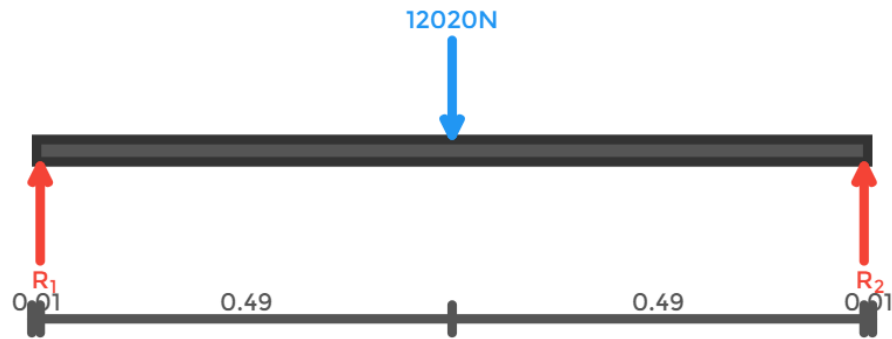
Gráfico 6 - Momento Fletor (F3)



Fonte: Site Viga Online (2019).

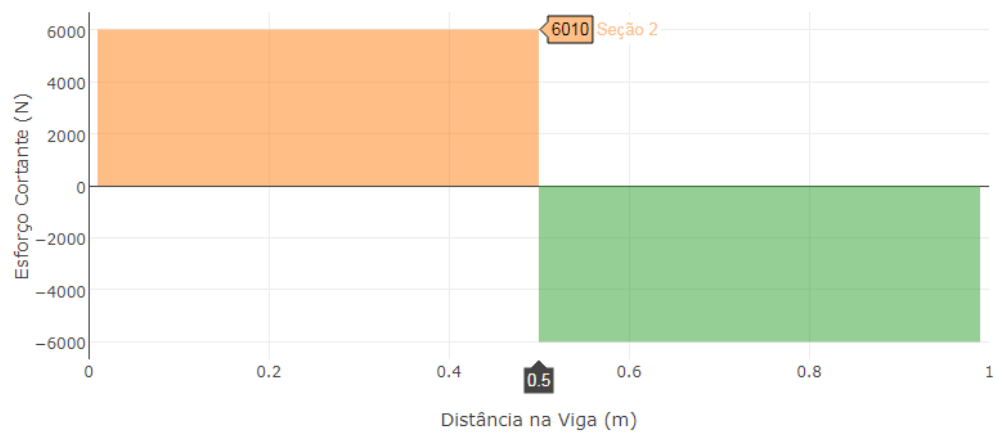
- Corpo de Prova F4

Figura 39 - Diagrama de Corpo Livre (F4)



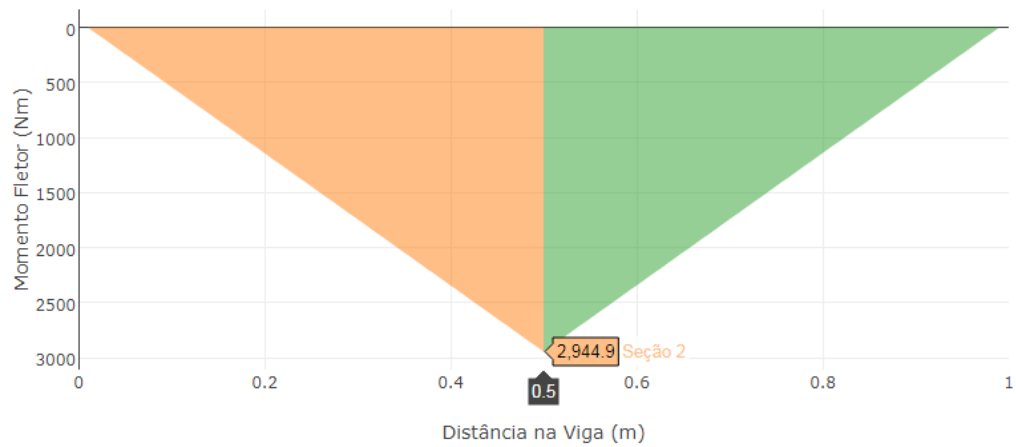
Fonte: Site Viga Online (2019).

Gráfico 7 - Esforço Cortante (F4)



Fonte: Site Viga Online (2019).

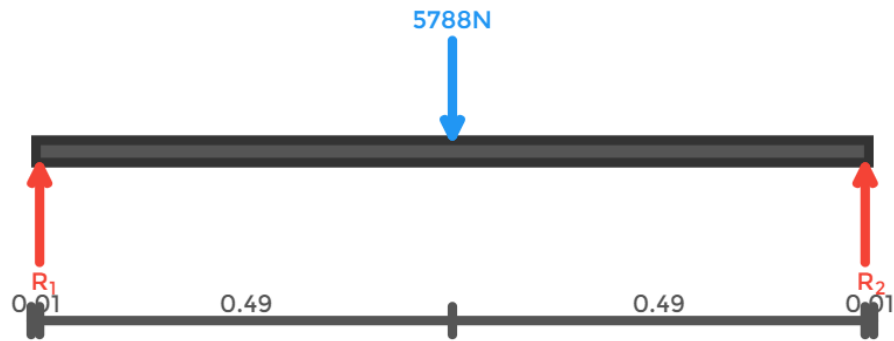
Gráfico 8 - Momento Fletor (F4)



Fonte: Site Viga Online (2019).

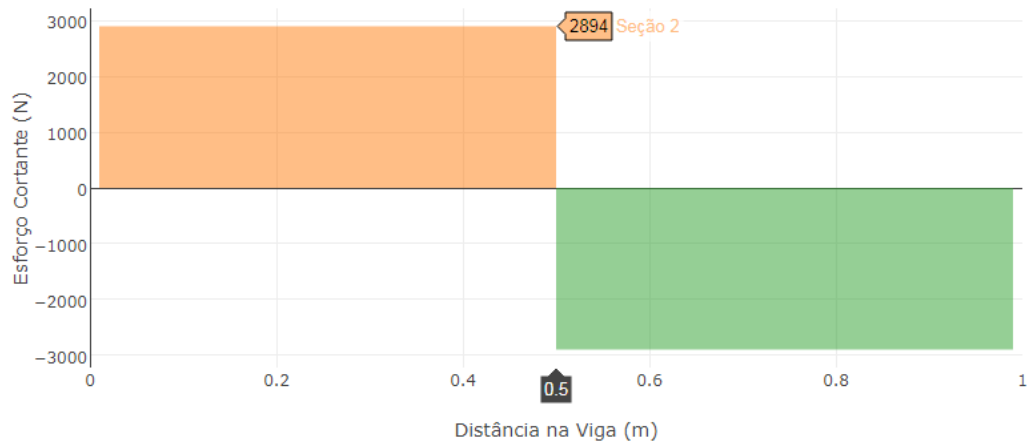
- Corpo de Prova F5

Figura 40 - Diagrama de Corpo Livre (F5)



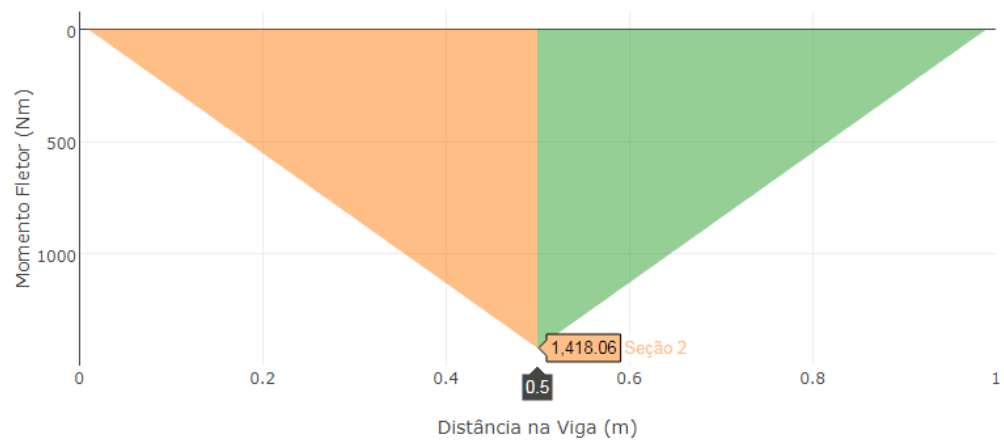
Fonte: Site Viga Online (2019).

Gráfico 9 - Esforço Cortante (F5)



Fonte: Site Viga Online (2019).

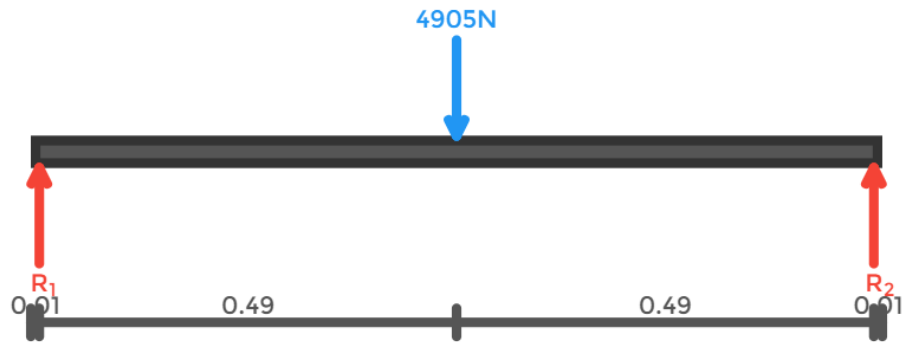
Gráfico 10 - Momento Fletor (F5)



Fonte: Site Viga Online (2019).

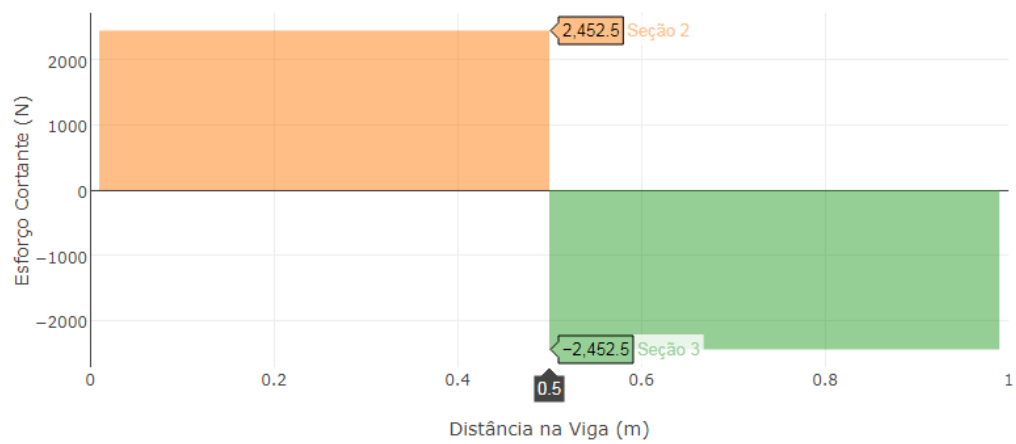
- Corpo de Prova F6

Figura 41 - Diagrama de Corpo Livre (F6)



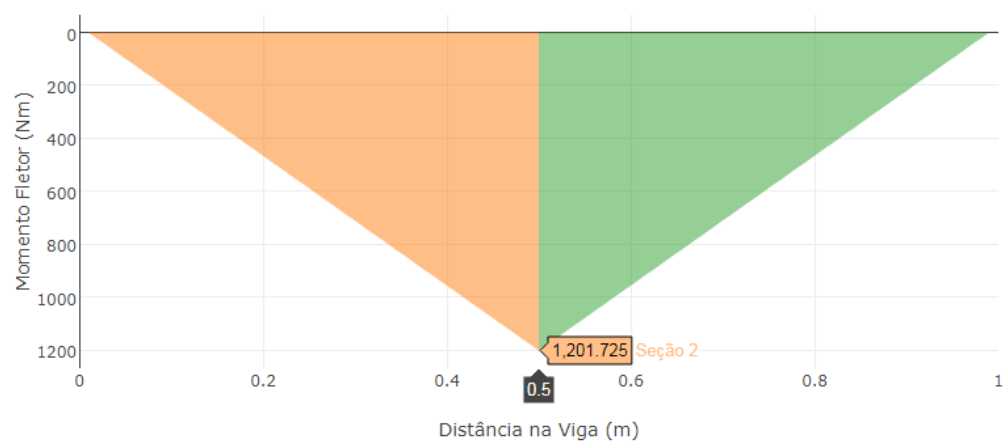
Fonte: Site Viga Online (2019).

Gráfico 11 - Esforço Cortante (F6)



Fonte: Site Viga Online (2019).

Gráfico 12 - Momento Fletor (F6)



Fonte: Site Viga Online (2019).

4.4.2 Preenchimento do Quadro do Ensaio de Flexão

Quadro 5 - Dados obtidos no ensaio de Flexão Estática

Corpo de Prova	F1	F2	F3	F4	F5	F6
A - Área de Seção Transversal (m ²)	33,18	20,82	35,34	50,27	44,77	34,09
M - Massa Aplicada (kg)	560	230	700	1225	590	500
F - Força de Ruptura (kN)	5,494	2,256	6,867	12,02	5,788	4,905
V - Esforço Cortante Máximo (kN)	2,747	1,128	3,434	6,010	2,894	2,453
M - Momento Fletor Máximo (kN.m)	1,346	0,553	1,682	2,945	1,418	1,201
I - Momento de Inércia (10 ⁻⁷ m ⁴)	9,796	3,786	8,89	22,48	10,67	9,156
c - Distância entre o Centróide e a Fibra mais distante (cm)	3,74	2,93	3,45	4,60	3,45	3,56

Fonte: Autoria Própria (2019).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 TEOR DE UMIDADE MÉDIO

O ensaio de umidade foi, em sua maior parte, orientado pela NBR 7190:1997 exceto no que se diz respeito à geometria dos corpos de prova. A partir dos resultados obtidos no Quadro 3, foi possível determinar o teor de umidade de cada amostra componente do ensaio (Quadro 6).

Quadro 6 – Teores de Umidade correspondentes a cada amostra

Identificação	cap 01	cap 02	cap 03	cap 04	cap 05	cap 06
PC - Peso da Cápsula (g)	11,772	12,887	12,866	11,652	11,917	11,745
PH - Peso do Conjunto Úmido (g)	236,326	147,242	145,890	118,716	69,603	101,475
PS - Peso do Conjunto Seco (g)	209,890	131,754	130,646	107,882	63,119	91,093
Ps - Peso da Madeira Seca (g)	198,118	118,867	117,780	83,578	51,202	79,348
h - Umidade (%)	13,34	13,03	12,94	12,96	12,66	13,08

Fonte: Autoria Própria (2019).

A NBR 7190:1997 orienta expor o resultado do ensaio a partir de um teor de umidade médio ($h_{med}(\%)$), obtido a partir da média aritmética das seis umidades referentes às amostras submetidas ao ensaio. Logo:

$$h_{med}(\%) = \frac{13,34+13,03+12,94+12,96+12,66+13,08}{6} = 13\%$$

De acordo com os quadros 1 e 2, a madeira estudada atingiu o limite entre a condição seca ao ar (13% a 18%) e a condição dessecada (0% a 13%). Dessa forma poderia ser empregada em ambientes fechados e cobertos, como na carpintaria de telhados. Esse tipo de umidade pode ser alcançado por secagem natural ou artificial da madeira.

Alguns fatores podem ter influenciado o resultado final do ensaio, como a umidade do ambiente durante as pesagens e a temperatura, assim como a adaptação dos corpos de prova feita em relação à Norma 7190:1997. Mesmo assim, pela uniformidade dos valores obtidos, com variação máxima de apenas 0,68% (13,34% – 12,66%), é possível avaliar de forma satisfatória o resultado do ensaio de teor de umidade.

5.2 RESISTÊNCIA MÉDIA À COMPRESSÃO AXIAL PARALELA ÀS FIBRAS

O ensaio de resistência à compressão foi orientado em sua maior parte pela Norma 7190:1997 brasileira e após sua realização apresentou os dados mostrados no Quadro 3, os quais possibilitaram a determinação da tensão de ruptura por compressão axial de cada corpo de prova (Quadro 7).

A seguinte equação foi utilizada para determinar as tensões:

$$\sigma_{rc} = F/A \text{ (Pa)}.$$

Quadro 7 – Tensões de Ruptura por Compressão

Corpo de Prova	C1	C2	C3	C4	C5	C6
A - Área de Seção Transversal (cm²)	49,48	37,70	32,99	28,08	17,67	28,27
m - Massa Aplicada (Ton)	15,78	8,62	8,22	6,82	3,28	8,42
F - Força de Ruptura (kN)	154,80	84,56	80,44	66,90	32,18	82,60
σ_{rc} - Tensão de Ruptura (MPa)	31,29	22,43	24,38	23,82	18,21	29,22

Fonte: Autoria Própria (2019).

Assim como o valor do teor de umidade, a norma NBR 7190:1997 recomenda-se que os resultados obtidos nesse tipo de ensaio sejam convertidos em uma média aritmética para abranger com mais realidade o panorama geral do material. Com os resultados de resistência à compressão calculados no quadro 7, foi possível determinar a tensão de ruptura média da madeira submetida à compressão axial ($\sigma_{rc_{med}}$). Assim:

$$\sigma_{rc_{med}} = \frac{31,29+22,43+24,38+23,82+18,21+29,22}{6} = \mathbf{24,89 \text{ MPa}}$$

O ensaio demonstrou uma grande discrepância nos valores de tensões obtidos pelas amostras, com a maior variação sendo de 13,08 MPa (31,29 MPa - 18,21 MPa) entre eles, o

que certamente não configura uma boa representação da espécie em geral. Assim seria necessária a realização de um novo ensaio e, se possível, com um maior número de amostras.

Apesar disso foi possível perceber que a amostra C1 suportou uma tensão de 31 MPa (no caso uma carga de 15,78 toneladas), sendo esta próxima a de alguns tipos de cimento (CP-32 MPa), mostrando uma alta capacidade de suporte de cargas.

A grande variedade nos resultados pode ser fruto de rupturas internas nas estruturas dos corpos de provas, como nós ou fissuras originadas a partir da queda da árvore, ou durante seu transporte. Em um panorama geral a umidade certamente influenciou a resistência do material, uma vez que quanto mais seco, maior resistência apresenta. A descalibragem dos equipamentos utilizados não pode ser descartada como fator de influência, assim como problemas de execução durante o processo do ensaio, as adaptações feitas aos corpos de prova e a velocidade da aplicação da força.

5.3 RESISTÊNCIA MÉDIA À FLEXÃO ESTÁTICA

O teste de resistência à flexão foi certamente o mais complexo dos ensaios realizados devido às dimensões do corpo de prova. A partir dos valores obtidos e definidos no ensaio (Quadro 5), foi possível determinar as tensões de flexão estática que romperam as amostras de madeira pela seguinte expressão:

$$\sigma_{rf} = Mc/I \text{ (Pa)}.$$

Quadro 8 - Tensões de Ruptura por Flexão

Corpo de Prova	F1	F2	F3	F4	F5	F6
m - Massa Aplicada (kg)	560	230	700	1225	590	500
F - Força de Ruptura (kN)	5,494	2,256	6,867	12,02	5,788	4,905
M - Momento Fletor Máximo (kN.m)	1,346	0,553	1,682	2,945	1,418	1,201
I - Momento de Inércia (10^{-7} m^4)	9,796	3,786	8,89	22,48	10,67	9,156
c - Distância entre o Centróide e a Fibra mais distante (cm)	3,74	2,93	3,45	4,60	3,45	3,56
σ_{rf} - Tensão de Ruptura (MPa)	51,39	42,80	65,27	60,26	45,85	46,70

Fonte: Autoria Própria (2019).

A NBR 7190:1997 usada como orientação para o ensaio, sugere a realização de uma média aritmética das tensões obtida, para que assim possa caracterizar melhor a madeira em questão. Logo, assim como os ensaios anteriores, a tensão de flexão estática média ($\sigma_{rf_{med}}$) foi obtida:

$$\sigma_{rf_{med}} = \frac{51,39+42,80+65,27+60,26+45,85+46,70}{6} = \mathbf{52,05 \text{ MPa}}$$

A discrepância de 22.47 MPa entre os valores de tensões obtidos foi bastante elevada e, assim como o ensaio de compressão, acabou por não configurar de forma satisfatória a representação da espécie em geral. Logo, a realização de um novo ensaio, com mais amostras e controle de execução seria pertinente para avaliar melhor o material.

Mesmo assim, os resultados obtidos permitem a realização de comparativos com outras madeiras usadas no ramo da construção civil desde que estas se encontrem na mesma umidade, além de servirem como parâmetros para futuros estudos.

As variações dos valores obtidos podem se frutos da anatomia de cada madeira, como a apresentação de nós em sua estrutura, ou fissuras provenientes de choques. Além disso deve-se considerar fatores relacionados ao ensaio, como a calibragem incorreta dos equipamentos e problemas funcionamento.

Fatores associados à umidade do material também podem ter influenciados os valores finais, pois como já foi dito, quanto mais seca a madeira, mais resistente se apresenta.

6 CONCLUSÃO E SUGESTÕES

O referido trabalho, apesar de ser fruto de uma adaptação da NBR 7190:1997 conseguiu proporcionar valores satisfatórios para o ensaio responsável por determinar o teor de umidade médio das amostras de madeira proveniente da carnaúba, apresentando uma certa uniformidade entre eles.

Em contrapartida, os ensaios referentes à resistência mecânica do material (compressão axial e flexão estática) apresentaram uma grande discrepância entre seus respectivos os valores, o que acabou configurando uma fragilidade nos resultados obtidos. Tendo isso em visto, seria necessária uma nova realização de testes, mais intrínsecos à NBR 7190:1997 para que o material possa ser caracterizado de forma mais eficiente.

Um dado interessante obtido a partir dos resultados do teste de compressão foi a resistência à ruptura demonstrada por um dos corpos de prova submetidos ao ensaio que se aproximou à resistência do CP-32 (Cimento Portland com resistência de 32 MPa), chegando a 31,29 MPa.

Desta forma aconselha-se um novo estudo, mais aprofundado e com maior controle, seguindo à risca a norma regulamentadora. Além disso, o universo de propriedades do material pode ser mais explorado realizando análises de características importantes da madeira, como por exemplo a resistência à tração e cisalhamento, o módulo de elasticidade e a retração e inchamento, para posteriormente compará-las com outros mais comumente usados.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190:1997 – **Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro, ABNT.

BARDOU; ARZOUMANIAN, Varoujan. **Arquitecturas de Adobe**. Espanha: Gustavo Gil, 1981.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 1994.

CORONA, Eduardo; LEMOS, Carlos A. C. **Dicionário da arquitetura brasileira**. São Paulo: Edart, 1972, 475p.

DI MARCO, A.R. **Pelos caminhos da terra**. Projeto. 1984, n.65, p.47-59.

HIBBELER, R.C.. **Resistência dos Materiais**. 7. ed. São Paulo: Pearson, 2010.

JORNADA, J. A. H. **A Importância dos Novos Materiais no Desenvolvimento Industrial**. Revista FEE, Rio Grande do Sul, v. 21, n. 1, p. 159-163, 1993.

LOPES, Wilza Gomes Reis; INO, Akemi. **Taipa de mão no Brasil: levantamento e análise de construções**. 1998. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

PINHEIRO, Libânio M.; MUZARDO, Cassiane D.; SANTOS, Sandro P. **VIGAS**. 2003. 16 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Usp, São Paulo, 2003.

PISANI, Maria Augusta Justi. **Taipas: A Arquitetura de Terra**. In: Sinergia – Revista do Centro Federal de Educação Tecnológica de São Paulo, São Paulo, v.5, n.1, 2004.

PISANI, Maria Augusta Justi. **Taipas**. In: COLLET, Gilda B. et alli. **Relatório de Pesquisa: Promoção do Desenvolvimento Sustentável: Comunidades do Semi-Árido**, MACKPESQUISA: São Paulo, 2003.

RITTER, Michael A. **Timber Bridges: Design, Construction, Inspection, and Maintenance**. Washington, 1990.

SCADELAI, Murilo A.; PINHEIRO, Libânio M.. **Pilares**. 2005. 32 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Usp, São Paulo, 2005.

SILVA, Olavo Pereira da. **Carnaúba, Pedra e Barro na Capitania de São José do Piauí**. v.1. Belo Horizonte: Ed. do autor, 2007.

ZENID, G.J. **Madeiras para móveis e construção civil**. São Paulo: IPT/SCTDE, 2002.