



**FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**GABRIELLY FERNANDES BACURAU**  
**ISADORA PIRES COSTA**

**INTERFERÊNCIA DO ENVELHECIMENTO DE *Pterodon*  
*Emarginatus* (VOGEL) NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E  
MECÂNICAS**

**PUBLICAÇÃO Nº: 12**

**GOIANÉSIA / GO**

**2019**



**GABRIELLY FERNANDES BACURAU**  
**ISADORA PIRES COSTA**

**INTERFERÊNCIA DO ENVELHECIMENTO DE *Pterodon*  
*Emarginatus* (VOGEL) NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E  
MECÂNICAS**

**PUBLICAÇÃO Nº: 12**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA FACEG.**

**ORIENTADOR: ME. IGOR CÉZAR SILVA BRAGA**

**GOIANÉSIA / GO: 2019**

## FICHA CATALOGRÁFICA

BACURAU, GABRIELLY FERNANDES; COSTA, ISADORA PIRES.

Interferência do envelhecimento de *Pterodon Emarginatus* (VOGEL) nas propriedades físicas e mecânicas, 2019, 61p (ENG/FACEG, Bacharel, Engenharia Civil, 2019).

TCC – FACEG – FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA

Curso de Engenharia Civil.

1. Madeira

3. Propriedades físicas

I. ENG/FACEG

2. Intemperismo

4. Propriedades mecânicas

II. Título (Série

### REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BACURAU, G. F; COSTA, I.P. Interferência do envelhecimento de *Pterodon Emarginatus* (VOGEL) nas propriedades físicas e mecânicas. TCC, Publicação ENG. Curso de Engenharia Civil, Faculdades Evangélica de Goianésia, Goianésia, GO, 68p. 2019.

### CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Gabrielly Fernandes Bacurau, Isadora Pires Costa.

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Interferência do envelhecimento de *Pterodon Emarginatus* (VOGEL) nas propriedades físicas e mecânicas.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2019

É concedida à Faculdade Evangélica de Goianésia a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Gabrielly Fernandes Bacurau

Rua 23-A, Nº 20 – Centro

76380-073 - Goianésia/GO – Brasil

---

Isadora Pires Costa

Rua 11, QD 13, LT02 – Alfredo S. Batista

76390-000 – Barro Alto/GO - Brasil

**GABRIELLY FERNANDES BACURAU**

**ISADORA PIRES COSTA**

**INTERFERÊNCIA DO ENVELHECIMENTO DE *Pterodon Emarginatus* (VOGEL) NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA FACEG COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL.**

**APROVADO POR:**

---

**IGOR CÉZAR SILVA BRAGA, MSC (FACEG)**  
**(ORIENTADOR)**

---

**BRUNO ISMAEL OLIVEIRA CARDOSO MAIA, ESP (FACEG)**  
**(EXAMINADOR INTERNO)**

---

**JESSICA NAYARA DIAS, MA (FACER)**  
**(EXAMINADOR EXTERNO)**

**GOIANÉSIA / GO: 2019**

*Dedicamos este trabalho:*  
*aos nossos pais;*  
*as nossas irmãs;*  
*aos nossos amigos e amigas.*

## AGRADECIMENTOS

Agrademos à Deus que esteve sempre ao nosso lado em todos os momentos para garantir que nossa meta fosse alcançada.

À nossa família, em ênfase nossas mães, pais, nossas irmãs, tias, namorado e a todos os nossos amigos, de verdade, queremos que saibam que reconhecemos tudo que fizeram por nós, a força que inculcaram nos nossos pensamentos para não desistir e o conforto de saber que nunca estaremos sós e seremos sempre capazes de tudo por maiores que sejam as dificuldades.

Agradecemos o nosso orientador, Igor Cézar por sempre estar presente para indicar a direção correta que o trabalho deveria tomar e por toda dedicação que sempre teve.

Ao Instituto Federal de Goiás- Câmpus Trindade, por ceder o laboratório para realização dos nossos ensaios, em especial o técnico de laboratório Douglas Alves de Sousa, sem ele não teria sido possível a realização dos mesmos.

A quem não mencionamos, mas fizeram parte do nosso percurso deixamos nosso profundo agradecimento porque com toda certeza tiveram um papel determinante nesta etapa das nossas vidas

“Você não pode ser tudo o que você quer ser, antes do seu tempo”

*Billy Joel*

## RESUMO

A madeira além de ser uma matéria prima natural, pode ser empregada em diferentes campos por sua grande versatilidade e resistência satisfatória. Para ser utilizada na construção civil, como elemento estrutural, é preciso conhecer suas propriedades físicas e mecânicas, as quais influenciam no dimensionamento e execução. A partir disso este trabalho teve por objetivo avaliar as propriedades físicas, mecânicas e a resistência da madeira *Pterodon Emarginatus (VOGEL)*, através de um comparativo entre as amostras em sua forma natural e amostras submetidas a um processo de envelhecimento acelerado em razão da exposição a uma câmara de intemperismo. A intenção maior é descobrir se a espécie possui uma resistência física e mecânica boa, e realizar um comparativo dessa resistência após um ciclo de envelhecimento acelerado. Trinta e duas amostras foram retiradas da cidade de Barro Alto-GO, onde 16 amostras foram expostas a um ciclo de radiação, umidade e temperatura controlada de acordo com a norma ASTM G154-12a ciclo 7 (2012), realizada no Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), durante um período de 72 horas. Na avaliação, realizou-se ensaios físicos e mecânicos nas amostras em sua forma natural e em sua forma envelhecida. Os resultados indicaram que ocorreram reduções diferenciadas nas propriedades avaliadas. As diminuições pouco significativas ocorreram somente nos corpos de prova oriundos das madeiras expostas ao intemperismo. Das amostras avaliadas houve a interferência do envelhecimento acelerado de uma redução de 7,62% e 10% para as resistências mecânicas à tração e compressão respectivamente, e para as propriedades físicas houve uma redução de 1,71% para a densidade e ao contrário dos outros ensaios na retração houve aumento na amostra envelhecida de 44,04%, não podendo ser vista assim a olho nu, mas houve alterações. Conclui-se que torna-se necessário uma avaliação nas amostras em um tempo maior para uma obtenção de resultados mais significativos.

**Palavras chave:** madeira; intemperismo; propriedades físicas; propriedades mecânicas.



## ABSTRACT

Besides being a natural raw material, wood can be used in different fields for its great versatility and satisfactory strength. To be used in civil construction, as a structural element, it is necessary to know the chemical and mechanical characteristics, as they influence the design and execution. From this, this work aimed to evaluate the physical, mechanical characteristics and strength of Pterodon wood. Emarginatus (VOGEL) by comparing samples in their natural form and undergoing an accelerated aging process due to exposure to a weathering chamber. The main intention is to find out if a species has a good physical and mechanical resistance, and to make a comparison of this resistance after an accelerated aging cycle. Thirty-two pieces were taken from the city of Barro Alto-GO, where 16 pieces were exposed to a pollution cycle, and the temperature controlled according to an ASTM G154-12a cycle 7 (2012) standard, held at the Institute for Technological Research. (IPT) over a period of 72 hours. In the evaluation, clinical and mechanical tests were performed on the samples in their natural form and in their aged form. The results indicate that there were different reductions in the evaluated properties. Undetectable decreases occur only in specimens from exposures exposed to weathering. The samples evaluated had an accelerated reduction interference of 7.62% and 10% for mechanical resistance to temperatures and pressures respectively, and for substances exposed to a 1.71% reduction for measurement and unlike other shrinkage tests. had an increase in the aged sample of 44.04%, cannot be seen as a naked eye, but changes have occurred. It can be concluded that it is necessary to evaluate the applications in a longer time to use more results.

**Keywords:** wood; weathering; physical properties; mechanical properties.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Espécie <i>Pterodon emarginatus</i> (VOGEL).....	2
Figura 2.1 - Corte da seção transversal do tronco de uma árvore.....	5
Figura 2.2 – Grã espiralada com rachaduras .....	8
Figura 2.3 – Nó tronco.....	9
Figura 2.4 – Rachadura na madeira .....	9
Figura 2.5- Desenho esquemático da anatomia da dicotiledônia .....	16
Figura 2.6 - Esquematização do ensaio de compressão paralela às fibras e o mecanismo de ruptura associado à flambagem das fibras .....	21
Figura 2.7 - Corpo de prova e diagrama tensão x deformação .....	22
Figura 3.1- Dimensões do corpo de prova para ensaio de compressão paralela às fibras .....	26
Figura 3.2- Dimensões do corpo de prova para ensaio de tração paralela às fibras .....	26
Figura 3.3- Dimensões do corpo de prova para a determinação das propriedades de retração e densidade .....	26
Figura 3.4 – Máquina INTERMETRIC CT201 C.....	29
Figura 3.5 – Máquina EMIC 2-100 da realização dos ensaios à tração .....	30
Figura 3.6 – Amostra já encaixada na máquina.....	30
Figura 3.7 – Corpos de prova em seu estado natural para cálculo da densidade.....	31
Figura 3.8 – Corpos de prova envelhecidos para cálculo da densidade .....	32
Figura 3.9 – Corpos de prova em seu estado natural para cálculo da retração.....	32
Figura 3.10 – Corpos de prova em seu estado natural para cálculo da retração.....	33
Figura 4.1 – Amostras em seu estado natural após a ruptura .....	34

Figura 4.2 – Amostras envelhecidas após a ruptura .....	35
Figura 4.3 – Amostras em seu estado natural após a ruptura .....	36
Figura 4.4 – Amostras envelhecidas após a ruptura .....	37

Gráfico 4.1- Comparativo em porcentagem da influência do envelhecimento acelerado nas amostras.....41

Tabela 2.1- Ações variáveis. ....	14
Tabela 2.2- Classes de carregamento.....	14
Tabela 2.3- Classes de umidade .....	15
Tabela 2.4- Classes de resistência Dicotiledônia- Valores de referência U= 12%.....	17
Tabela 2.5- Valores de $K_{mod1}$ .....	18
Tabela 2.6- Valores de $K_{mod2}$ .....	19
Tabela 2.7- Valores de $K_{mod3}$ .....	19
Tabela 3.1- Parâmetros técnicos dos ciclos de intemperismo aplicados no ensaio de intemperismo artificial acelerado .....	27
Tabela 4.2- Obtenção dos resultados nas amostras em seu estado natural após o ensaio de resistência à tração.....	34
Tabela 4.3- Obtenção dos resultados das amostras envelhecidas após o ensaio de resistência à tração .....	35
Tabela 4.4- Obtenção dos resultados nas amostras em seu estado natural após o ensaio de resistência à compressão.....	36
Tabela 4.5- Obtenção dos resultados nas amostras envelhecidas após o ensaio de resistência à compressão .....	37
Tabela 4.6- Obtenção dos resultados após o ensaio de densidade na madeira em seu estado natural.....	38
Tabela 4.7- Obtenção dos resultados após o ensaio de densidade na madeira envelhecida .....	38
Tabela 4.8- Obtenção dos resultados após o ensaio de retração na madeira no estado natural. ....	39

Tabela 4.9- Obtenção dos resultados após o ensaio de retração na madeira envelhecida .....	39
Tabela 4.10- Obtenção dos resultados em porcentagem sobre a interferência do envelhecimento acelerado nas amostras .....	40

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ASTM – *American Society for Testing and Materials*.

EQUV- Equivalente processo acelerado UV- Processo de Carga e Descarga de Capacitores

IPT- Instituto de Pesquisas Tecnológicas

IFG- Instituto Federal de Goiás

NBR – Norma Brasileira.

NIR – *Near Infrared Spectroscopy*.

SNIF – Sistema Nacional de Informações Florestais.

UV – Ultravioleta.

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\alpha$  - Alfa (*graus*)

$K_{mod}$  - Coeficiente de modificação

$K_{mod1}$  - Coeficiente de modificação referente as classes de carregamento

$K_{mod2}$  - Coeficiente de modificação referente as classes de umidade

$K_{mod3}$  - Coeficiente de modificação referente a categoria estrutural da madeira utilizada.

$\gamma_Q$  - Coeficiente de ponderação de ações variáveis em geral

$\gamma_c$  - Coeficiente de ponderação de efeitos de temperatura

$\leq$  - Menor ou igual

$\sigma_d$  - Tensão de cálculo (*MPa*)

$U_{eq}$  - Umidade de equilíbrio da madeira (%)

$U_{amb}$  - Umidade Relativa do ambiente (%)

$\Delta_l$  - Encurtamento de uma base (*m*)

$E_{c,m}$  - Módulo de elasticidade médio na direção das fibras (*MPa*)

$N_u$  - Carga de ruptura (*MPa*)

$V_w$  - Volume (*m<sup>3</sup>*)

$f_{c,0}$  - Resistência à compressão paralela às fibras (*MPa*)

$f_{c,k}$  - Resistência à compressão na direção das fibras (*MPa*)

$f_{t,0}$  - Resistência à tração paralela às fibras (*MPa*)

$f_{t,k}$  - Resistência à tração na direção das fibras (*MPa*)



$f_{t90,k}$  – Resistência à tração normal às fibras (*MPa*)

$l_0$  – Base de medida (*m*)

$m_s$  – Massa seca (*kg*)

$\rho_{ap}$  – Peso específico médio aparente, dependente da do teor de umidade (*Kg/ m<sup>3</sup>*)

$f_{c0,k}$  – Carga característica da resistência à compressão paralela às fibras (*N*)

$E_{c,0m}$  – Valor médio do módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras (*GPa*)

$\rho_{bas}$  – densidade básica (*Kg/m<sup>3</sup>*)

$\rho_{12}$  – Densidade aparente com umidade de referência de 12% (*Kg/m<sup>3</sup>*)

$\rho$  – Densidade (*kg /m<sup>3</sup>*)

$R_k$  – Resistência característica (*MPa*)

$\gamma_w$  – Coeficiente de minoração das propriedades da madeira para o Estado limite último

**LISTA DE EQUAÇÕES**

Equação 2.1- Retração na madeira .....	11
Equação 2.2- Densidade básica .....	12
Equação 2.3- Condições Analíticas de Segurança.....	13
Equação 2.4- Resistência de Cálculo.....	13
Equação 2.5- Coeficiente de Modificação.....	18
Equação 2.6- Resistência à Compressão Simples .....	20
Equação 2.7- Condição de Segurança .....	22

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1. JUSTIFICATIVA .....	3
1.2. OBJETIVOS.....	3
1.2.1. Objetivo geral .....	3
1.2.2. Objetivos específicos .....	4
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	4
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	5
2.1 ESTRUTURA DA ÁRVORE.....	5
2.1.1 Casca.....	5
2.1.2 Ritidoma .....	6
2.1.3 Entrecasco.....	6
2.1.4 Câmbio vascular .....	6
2.1.5 Borne.....	6
2.1.6 Cerne.....	6
2.1.7 Medula .....	7
2.2 DEFEITOS NATURAIS .....	7
2.2.1 Grã .....	8
2.2.2 Nós.....	8
2.2.3 Rachadura .....	9
2.3 A ESPÉCIE <i>PTERODON EMARGINATUS</i> (VOGEL).....	10
2.4 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA .....	11
2.4.1 Retração .....	11
2.4.2 Densidade .....	12
2.5 PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA.....	13
2.6 ENSAIOS NA MADEIRA .....	19
2.6.1 Compressão paralela as fibras.....	20
2.6.2 Tração paralela as fibras .....	21

2.7 ENVELHECIMENTO DA MADEIRA .....	23
2.7.1 Câmara de envelhecimento acelerado e intemperismo para não metálicos (c-uv) .....	24
3 METODOLOGIA.....	25
3.1 OBTENÇÃO DO MATERIAL .....	25
3.2 CORPOS DE PROVA .....	25
3.3 PREPARO DOS CORPOS DE PROVA PARA OS ENSAIOS .....	27
3.4 PROPRIEDADES MECÂNICAS .....	28
3.4.1 Compressão paralela às fibras .....	28
3.4.2 Tração paralela às fibras .....	29
3.5 PROPRIEDADES FÍSICAS.....	31
3.5.1 Retração e densidade .....	31
3.6 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	33
4 ANÁLISES E RESULTADOS .....	34
4.1 ENSAIO À TRAÇÃO .....	34
4.2 ENSAIO À COMPRESSÃO .....	36
4.3 DENSIDADE.....	38
4.4 RETRAÇÃO.....	39
5. CONCLUSÃO.....	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	42



## 1. INTRODUÇÃO

A madeira é uma matéria prima natural, com grande versatilidade e resistência satisfatória. Além de possuir essas características ela ainda é um material renovável, em contínuo crescimento, resultando em vantagens em comparação a outros materiais. Possui uma variedade de espécies, decorrendo em diversas propriedades e inúmeras aplicações (OLIVEIRA et al., 2007).

Em sua utilização como elemento estrutural, torna-se necessário conhecer suas propriedades físicas e mecânicas, em razão da interferência causada pelas mesmas nos dimensionamentos e execuções. Em virtude da sua potencialidade sua aplicação tornou-se constante, entretanto, a madeira contém desvantagens e limitações. Posto isto, é indispensável ensaios mecânicos para testar as suas características para aplicabilidade adequada (PAES, 2007).

De acordo com o Sistema Nacional de Informações Florestais (SNIF), não se tem a área total de Reserva Legal no Brasil, mas há uma estimativa a partir dos percentuais que são estipulados para cada região, totalizando em 433.850.975 hectares (ha), sendo 28.051.260,1 ha do cerrado goiano.

A espécie *Pterodon emarginatus* (VOGEL), conhecida popularmente como sucupira branca ou faveiro, pode ser encontrado em áreas de transição entre a Floresta Estacional e o Cerrado. Essa espécie está presente nos estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e São Paulo. Possui porte médio (Figura 1.1), e fornece madeira utilizada na construção civil (LORENZI, 1992).

Frequentemente, verifica-se o emprego impróprio da madeira pela falta de informações das características físicas e mecânicas. Isso compromete a vida útil e a segurança das estruturas e edificações (MEIRELLES et al., 2007).

A norma NBR 7190 (ABNT, 1997) rege e direciona projetos de madeira no Brasil. O Anexo E, da referida norma, trata sobre as propriedades necessárias para dimensionar elementos estruturais com quarenta e três espécies de madeiras coníferas e dicotiledônias. Desta forma, a norma brasileira também denota relações para estimar rigidez e resistência como propriedades da madeira, contudo não existe uma equação que se pode associar componentes químicos que integram a madeira em si (ROCCO LAHR et al., 1990).

**Figura 1.1 – Espécie *Pterodon emarginatus* (VOGEL).**



Fonte: Árvores do Bioma do Cerrado, 2017.<sup>1</sup>

Na maior parte dos casos, o projetista tem como impasse o conhecimento das espécies disponíveis no local de execução do projeto, preferindo a aplicação de espécies convencionais onde de certa forma pode não ter viabilidade. Para lograr com convicção, é necessária a utilização das classes de resistência regidas pela NBR 7190 (ABNT, 1997) de Projetos de Estruturas de Madeira, na qual torna-se possível escolher de forma adequada a madeira para a execução da estrutura a ser construída, sob a condição que todas propriedades mecânicas da escolha atendam a necessidade da estrutura (SALES, 2000).

HON (2001) define intemperismo como uma combinação entre a ação do sol, da chuva ou umidade e dos ventos, ou seja, a ação de um ou mais fatores climáticos que incidem na madeira e colaboram para o seu envelhecimento. De acordo com PASTORE et al. (2008), a radiação ultravioleta UV (30-40nm) é a ação que mais causa danos às madeiras. A luz solar é capaz de desencadear reações de decomposição química, gerando a formação de radicais livres, os quais atacam os principais constituintes da madeira. Assim, quando a madeira está sujeita ao intemperismo, os primeiros prejuízos notados são na

---

<sup>1</sup> Disponível em: <<http://www.arvoresdobiomacerrado.com.br/site/2017/09/23/pterodon-pubescens-benth-benth/>>. Acesso em 24 de março de 2019.

variação da cor e da textura, se a exposição for prolongada podem ser comprometidas as propriedades anatômicas, físicas, químicas e mecânicas da madeira.

Segundo CREEMERS et al. (2002), o clima intervém de forma mútua nas propriedades do envelhecimento da madeira, porém a precipitação e o calor são preponderantes às outras ações. VOVELLE & MELLOOTTEE (1982) salientam ainda que a madeira inserida em uma estufa em temperatura entre 100° e 250° resultaria em propriedades diferentes em relação a sua originalidade, as quais podem interferir no seu uso.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A madeira possui complexidade ao ser estudada, por se tratar de ser um material natural e por cada espécie possuir uma característica própria, se faz necessário conhecer e aprofundar o grau de variabilidade dentro de cada espécie, dessa maneira acondicionar as aplicações específicas da madeira estudada.

O estudo do envelhecimento da madeira tem suma importância para definição das propriedades existentes na mesma, posto que a necessidade de construções que aderem o material tenha vida útil longa e com garantia.

Justifica-se isto posto, a necessidade do conhecimento da resistência da madeira *Pterodon emarginatus* antes e após seu envelhecimento, para seus fins e aplicabilidades seguindo a NBR 7190 (ABNT,1997).

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar, por meio de um estudo comparativo, as propriedades físicas e mecânicas de *Pterodon Emarginatus* (VOGEL) antes e após ciclos de envelhecimento, seguindo o Anexo B da NBR 7190 (ABNT,1997).



### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Estudar sobre as propriedades da madeira e sua função estrutural;
- Elaborar corpos de prova baseando em normas brasileiras para a execução dos ensaios, de forma que atenda à anisotropia do material;
- Avaliar a resistência à tração e compressão de *Pterodon emarginatus* (VOGEL) envelhecido;
- Comparar a resistência da madeira antes e após envelhecimento;
- Determinar propriedades físicas como: retração e densidade.

### 1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em cinco capítulos. No capítulo seguinte, capítulo 2, é apresentada a revisão bibliográfica. No capítulo 3 encontra-se a descrição das etapas e os procedimentos metodológicos utilizados para a realização da pesquisa e aquisição de dados. No capítulo 4 estão as análises e os resultados obtidos por meio de uma avaliação comparativa e no capítulo 5 apresenta-se as conclusões.

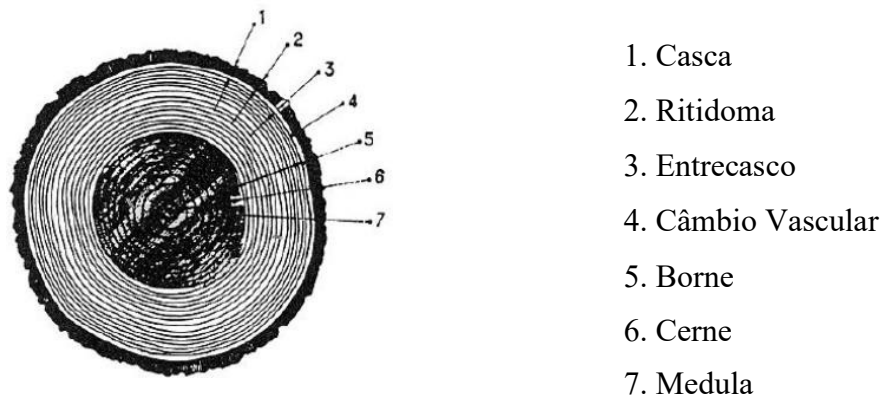
## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 ESTRUTURA DA ÁRVORE

No crescimento de uma árvore, o tronco de onde é extraída a madeira, executa funções vitais para sua estrutura, por ser o condutor de nutrientes e base de sustento. O seu desenvolvimento, tem como sentido inicial o vertical, e com o passar dos anos, vai crescendo e implementando camadas consecutivas e justapondo em volta das camadas já formadas. Quando há um corte transversal em um tronco, é possível visualizar estas camadas as quais são conhecidas como anéis de crescimento (COSTA, 2001).

A Figura 2.1 representa o corte da seção transversal do tronco de uma árvore. Podendo ser percebidos, os elementos que o compõem.

Figura 2.1 - Corte da seção transversal do tronco de uma árvore.



Fonte: COUTINHO, 1999.

#### 2.1.1 Casca

Foelkel (2006) descreve a casca como sendo uma proteção exterior que a árvore possui, se estendendo desde a raiz até seu tronco, correspondendo de 10% a 15% do seu peso total. É através dela que a seiva orgânica é transportada para as folhas, nutrindo e armazenando nutrientes minerais e substâncias energéticas que aumentam assim a resistência da árvore. Ela funciona também como uma espécie de manto protetor, onde impede que o xilema, que é o responsável pela condução das águas nas plantas vasculares, fique exposto e se sujeite a ressecar, além da proteção contra os ataques de insetos.

### **2.1.2 Ritidoma**

O ritidoma é considerado uma proteção que combate os danos que possam ser causados pelo meio ambiente ou fenômenos naturais. É composto por tecidos mortos situados na superfície do caule e da raiz, compondo assim a casca externa e protegendo os tecidos que são mais novos do meio ambiente (FOELKEL 2006).

### **2.1.3 Entrecasco**

No entrecasco, a seiva que já foi produzida pelas folhas, desce como sequência das substâncias que já foram retiradas do ar e do solo. É nas folhas que o ar trabalha, de forma a ser absorvido e realizando a fotossíntese. No solo, se obtém a água e compostos minerais que formam a seiva bruta obtida pela capilaridade (PINTO, 2014).

### **2.1.4 Câmbio Vascular**

O câmbio vascular se encontra entre a casca e o lenho, considerada uma camada com tecidos vivos, e de espessura fina. Através dele, realiza-se o crescimento transversal, a partir do acréscimo de camadas novas periféricas e concêntricas que ocorrem devido a uma transformação do câmbio, denominada como anéis de crescimento. São por eles que se pode observar a situação de desenvolvimento que a árvore se encontra e sua idade. Em climas tropicais, há um crescimento acelerado, formando assim anéis largos e poucos distintos, com cor mais clara, paredes finas e células largas; em climas frios ou temperados, os anéis são bem configurados e apertados, com cores mais escuras, paredes grossas e células estreitas (PINTO, 2014).

### **2.1.5 Borne**

O borne é um componente do lenho, assim como o cerne e a medula. O lenho é a sustentação e a resistência que a árvore possui. O borne é uma camada externa, com cor considerada mais clara que o cerne, constituído por células ativas e vivas, que tem por função o transporte da seiva bruta através da capilaridade (PINTO, 2014).

### **2.1.6 Cerne**

O cerne é constituído por células mortas, da camada interna, com cor mais escura que o borne. Como consequência das modificações que o borne sofre relacionado aos progressos de crescente engrossamento das paredes celulares, em virtude da impregnação de resinas, corantes, lenhina, constitui assim o cerne. Ele tem maior resistência mecânica,

durabilidade, densidade e compacidade por ser formado de tecido morto, não desperta o interesse de ataque de insetos e nem outros agentes que contribuem para a deterioração (PINTO, 2014).

### **2.1.7 Medula**

A medula é definida como sendo o núcleo do lenho. Muitas das vezes já se encontra apodrecido, por ser um tecido mole e esponjoso. Não possui resistência mecânica, nem durabilidade (PINTO, 2014).

Das camadas que foram mostradas na Figura 2.1, pode-se destacar o cerne e o borne, eles são os elementos que mais tem utilidade na execução de componentes estruturais. O cerne tem em sua composição células mortas, onde propicia a sustentação mecânica da árvore. O borne é composto de células vivas, e é encarregado de armazenar alimento e pela transferência mecânica da seiva. Eles são diferenciados por suas cores e resistências a se decompor. O cerne é mais resistente que o borne, e é de onde a madeira deve ser removida, já que o borne é menos resistente e possui cor relativamente mais clara. (FARIA, 2009).

## **2.2 DEFEITOS NATURAIS**

Na formação do tronco pode suceder defeitos naturais, fatos corriqueiros devido a falhas bem como, conicidade que é resistência mecânica baixa, pelo tecido fibroso ser separado, diminuindo a coesão natural; tortuosidade: peças de madeiras proveniente de troncos tortuosos com grãos irregulares comprometendo a resistência mecânica, causando dificuldade no acabamento e provocando deformações de secagem; Bifurcação: desenvolvimento de brotos apicais próximos e ataques de insetos, formando medula múltipla ou duplo tronco; e sulcos: desvios na direção da grã e variação da massa específica, provocando grande tendência para aparecer rachaduras. Decorrem também falhas na forma estrutural da madeira, como nós, grãos irregulares, crescimento variável dos anéis, desenvolvimento excêntrico, rachaduras, lenho de tração e compressão, variações ocasionadas por esforços mecânicos, alterações climáticas, e presença de substâncias químicas (COSTA, 2001).

### 2.2.1 Grã

Grã são componentes do lenho orientados no sentido vertical relativamente ao eixo da árvore. Ao originar seu crescimento, forma-se essa orientação onde pode haver uma alteração natural, variando as direções dos tecidos axiais (COSTA, 2001).

Quando há essa variação de direção pode ocorrer uma irregularidade nomeada de Grã espiralada, que se origina sob ações dos ventos e seguimento de copa. Na originalidade dessa grã, decorrem-se fatores que implicam na estabilidade de madeiras serradas e conseqüentemente em sua resistência mecânica causada pelo corte dos elementos de forma oblíqua, resultando em deformações como rachaduras e ondulações (FERNANDES, 1982).

A Figura 2.2 representa um exemplo de grã espiralada, ocasionando deformações como rachaduras.

**Figura 2.2** – Grã espiralada com rachaduras.



Fonte: MADIPAC- Madeiras naturais,2015. <sup>2</sup>

### 2.2.2 Nós

De acordo com COSTA (2001), o nó se estabelece como estrutura base do galho encaestado no tronco da árvore, originando na medula e aumentando do centro para a periferia. É através dos nós que há introdução de insetos, fungos e espécies prejudiciais à madeira. Através de fatores genéticos, vão se definindo tamanho, manejo e espaçamento desses nós. A Figura 2.3 mostra um exemplo de nó tronco em uma árvore.

---

<sup>2</sup> Disponível em: <<https://madiplac.pt/madeiras-naturais/>>. Acesso em 11 de junho de 2019.

**Figura 2.3** – Nó tronco.



Fonte:PIXABAY- NÓS, 2013.<sup>3</sup>

### 2.2.3 Rachadura

Tem origem quando há tensões sendo aplicadas ou mesmo através do processo de secagem. As rachaduras são pontos descontínuos no material, ocasionadas por esforços aplicados. Quando no procedimento de secagem, há uma secagem mais acelerada na parte externa relacionada a parte inferior, ocorre as rachaduras (CRUZ, 1997).

Para evitar o surgimento de rachadura, segundo PFEIL (2015), através do processo de secagem lenta e uniforme da madeira. A Figura 2.4 exemplifica diversos tipos de rachadura na madeira.

**Figura 2.4** – Rachadura na madeira.



Fonte: UFPR- Anatomia da Madeira,2010.<sup>4</sup>

<sup>3</sup> Disponível em: <<https://pixabay.com/pt/photos/madeira-n%C3%B3-tronco-textura-pinho-941114/>>. Acesso em 11 de junho de 2019.

<sup>4</sup> Disponível em: <<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinassilvana/defeitos.pdf>>. Acesso em 11 de junho de 2019.

### 2.3 A ESPÉCIE PTERODON EMARGINATUS (VOGEL)

*Pterodon Emarginatus*, obtendo como nome genérico e popular sucupira branca, a qual é caracterizada pelo seu perfil natural estabelecer cor amarelada, nitidamente dura, com alta resistência com relação aos xilófagos, que são organismos deterioradores da madeira, e conseqüentemente elevada resistência natural ao apodrecimento. Espécie proveniente dos cerrados goianos, mineiros e paulistas (RIZZINI, 1971).

Dispõe de um tronco cilíndrico variável entre 40 e 60 centímetros de diâmetro, contendo um revestimento de casca lisa branco-amarelada, atingindo entre 8 a 12 metros de altura. Suas folhas possuem cor rosada e a espécie gera frutos do gênero sâmara arredondada tendo única semente, envolvida por uma casca fibro-lenhosa e coberta em virtude de uma substância oleosa (DENNY, 2009).

Tem-se grande utilização no setor das construções civis por apresentar demasiada durabilidade. A árvore tem inúmeras funcionalidades, sendo capaz de ser utilizada para arborização de ruas estreias por não exigir uma ampla parte dos solos. É recomendada quando se trata de recomposição e reflorestamento (PINTO, 2014).

A caracterização é uma etapa importante na delimitação da utilização final da madeira. Portanto é necessário compreender suas particularidades através de ensaios mecânicos para designação da utilidade cabível (VALE et.al., 2000). Essa caracterização específica é realizada através da execução de ensaios. No presente trabalho serão realizados os ensaios de tração e compressão.

Seja qual for o material empregado para uma determinada função, é crucial compreender seu comportamento mecânico para satisfatoriamente aplicar sua estrutura nos projetos. Necessariamente, por intermédios dos ensaios que se compreende os desempenhos que o material sofre sob ações de esforços ocorrendo em conformidade com tensões e/ou deformações. A reação interna aos esforços que atuam sob uma determinada área de um corpo de prova exprime a tensão (GARCIA et al., 2000).

A realização desses ensaios pode resultar em materiais destrutivos, que são os que ocasionam a ruptura ou a deterioração do material. Os não-destrutivos são utilizados para estabelecer propriedades físicas do material, do mesmo modo que identificar falhas internas do mesmo. Nos ensaios destrutivos, envolvem os ensaios de tração, compressão, cisalhamento, impacto, dobramento, embutimento, flexão, fadiga e torção. Nos ensaios não-destrutivos, compõe-se os ensaios com ultrassom, raio X, partículas magnéticas e líquidos penetrantes. Para constatar qual ensaio será necessário, depende da situação e

qual propriedade necessita-se ser evidenciada (HIBBLER, 2004).

## 2.4 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA

Para CRUZ (1997), a madeira por ser um material higroscópico, ou seja, de acordo com as variações de temperatura que o ambiente pode sofrer, ela pode ganhar ou perder humidade, ocasiona transtornos em seus comportamentos físicos ou mecânicos. Ao infiltrar água, o material pode adquirir retração ou inchamento.

### 2.4.1 Retração

A retração se refere à proporção de água existente na madeira. Ela decorre abaixo da posição que há saturação das fibras. O inchamento dá-se em posicionamento elevado da configuração de saturação das fibras. Quando a madeira passa pelo procedimento de secagem, sua maior modificação se evidencia na direção tangencial dos anéis de crescimento, onde a direção longitudinal é consideravelmente desprezível (LOSGDON, et al., 2002).

Para DURLO *et al* (1992), a retração radial e tangencial tem como explicação a intervenção dos raios no sentido radial e a disposição helicoidal que se diferem nas paredes radiais e tangenciais.

SILVA et al (2003) cita ainda que a maioria das dicotiledônias traz essa dissemelhança devido suas propriedades anatômicas. São considerados que a proporção radial das fibras, e suas desigualdade na composição química são fatores que promovem a anisotropia constituinte da madeira. Para DURLO et al (1992), a retração influencia e delimita em quais funcionalidades a madeira pode ser empregada, necessitando de normas técnicas para sua devida utilização.

A retração, pode ser calculada pela Equação 2.1 a seguir, a partir da norma NBR 7190/1997 anexo B.

$$\varepsilon_r = \frac{L_{sat} - L_{seca}}{L_{sat}} \cdot 100 \quad (2.1)$$

Onde:

$\varepsilon_r$  : retração (%);

$L_{sat}$  : Comprimento saturado;

$L_{seca}$  : Comprimento seco



### 2.4.2 Densidade

Como as outras propriedades, a densidade tem influência em relação à qualidade da madeira. De espécie para espécie ela tem alteração e até mesmo entre as mesmas espécies ocorre essa alteração (VALE et al., 1992).

A densidade aparente se refere à uma certa umidade e volume. Através do cálculo da mesma, torna-se possível perceber o quanto de água foi perdido no decorrer do tempo (REZENDE et al, 1997).

A densidade básica tem por definição a relação entre massa seca por volume saturado, essa é a distinção entre as duas, uma condição totalmente saturada, e outra totalmente seca (REZENDE et al, 1997). Para cálculo da densidade, usa-se como umidade padrão de 12%.

Pode-se calcular facilmente pela Equação 2.2 abaixo:

$$\rho = \frac{m_s}{V_w} \quad (2.2)$$

Onde:

$\rho$ : densidade ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$m_s$ : massa seca (kg);

$V_w$ : volume ( $\text{m}^3$ ).

## 2.5 PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA

Para definição das propriedades mecânicas da madeira, a NBR 7190 (ABNT, 1997) define pelos métodos de estados limite de utilização, que as condições executadas no projeto devem desempenhar competências que não comprometem a durabilidade da construção (FIGUEROA, 2012).

A norma determina então para questões de segurança, a garantia expressa pelo cumprimento das condições analíticas de segurança que é expressa pela Equação 2.3.

$$S_d \leq R_d \quad (2.3)$$

Onde  $S_d$  é a solicitação de cálculo e  $R_d$  a resistência de cálculo.

A resistência de cálculo pode ser estimada pela Equação 2.4 a seguir:

$$R_d = k_{\text{mod}} \frac{R_k}{\gamma_w} \quad (2.4)$$

Onde:

$R_d$ : Resistência de cálculo;

$K_{\text{mod}}$ : coeficiente de

modificação;  $R_k$ : resistência

característica;

$\gamma_w$ : coeficientes de ponderação da resistência para estados limites últimos.

Na NBR 7190 (ABNT, 1997) são definidas de forma padrão as classes de resistência da madeira, e para determinação da resistência deve-se considerar o teor de umidade e efeitos de duração do carregamento da madeira. Nas Tabelas 2.1 e 2.2 listadas abaixo, estão definidas as classes de umidade e efeitos de duração de carregamento da madeira consecutivamente.

Tabela 2.1- Valores de  $K_{mod1}$ .

<b>COMBINAÇÕES</b>	<b>AÇÕES VARIÁVEIS EM GERAL, INCLUINDO AS CARGAS ACIDENTAIS MÓVEIS</b>	<b>EFEITOS DA TEMPERATURA</b>
Normais	$\gamma_Q : 1,4$	$\gamma_E : 1,2$
Especiais ou de construção	$\gamma_Q : 1,2$	$\gamma_E : 1,0$
Excepcionais	$\gamma_Q : 1,0$	$\gamma_E : 0$

Fonte: NBR 7190:1997

Tabela 2.2- Valores de  $K_{mod2}$ 

<b>CLASSE DE CARREGAMENTO</b>	<b>DURAÇÃO ACUMULADA</b>	<b>ORDEM DE GRANDEZA DA DURAÇÃO ACUMULADA DA AÇÃO CARACTERÍSTICA</b>
Permanente	Permanente	Vida útil da construção
Longa duração	Longa duração	Mais de seis meses
Média duração	Média duração	Uma semana a seis meses
Curta duração	Curta duração	Menos de uma semana
Duração instantânea	Duração instantânea	Muito curta

Fonte: NBR 7190:1997

Segundo a NBR 7190 (ABNT,1997) pode acontecer carregamento: normal, especial e excepcional e são classificados conforme seu tempo de durabilidade, adotando sempre casos que determinem segurança.

A norma determina também condições de referência. Para determinação da resistência e rigidez da madeira, segundo a NBR 7190 (ABNT,1997) adota-se a umidade referência como 12%.

Contudo, pode ser que as condições de umidade no local da estrutura sejam diferente de 12%, recorrendo assim a Tabela 2.3 a seguir que adequa corretamente as classes umidades a serem escolhidas.

Tabela 2.3- Valores de  $K_{mod3}$ 

CLASSES DE UMIDADE	UMIDADE RELATIVA DO AMBIENTE ( $U_{amb}$ )	UMIDADE DE EQUILIBRIO DA MADEIRA ( $U_{eq}$ )
1	$\leq 65\%$	12%
2	$65\% \leq U_{amb} \leq 75\%$	15%
3	$75\% \leq U_{amb} \leq 85\%$	18%
4	$U_{amb} \geq$ durante longos períodos	$\geq 25\%$

Fonte: NBR 7190:1997

Para VARELA (2015), a madeira possui distintas propriedades por ser um elemento anisotrópico, isto é, de acordo com os sentidos perpendiculares um ao outro e planos do material, suas propriedades vão se alterando, não havendo assim, simetria de singularidades em redor do eixo dependendo da direção do esforço, para o descobrimento do quanto a madeira possa resistir.

PFEIL (2015), já considera irrelevante na influência prática, considerar a alteração entre as direções tangenciais e radiais, diferenciando apenas as propriedades que são na mesma direção das fibras principais longitudinalmente à madeira e na perpendicular das mesmas.

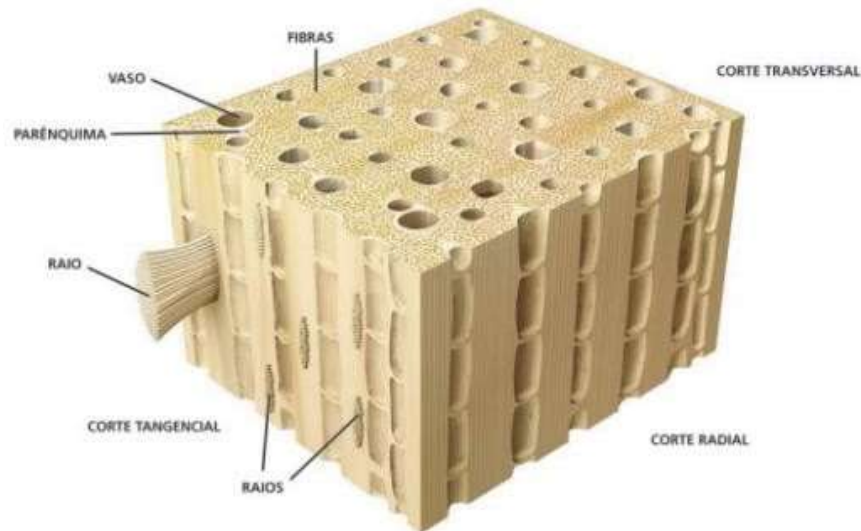
Existem dois tipos de classes da madeira, caracterizadas como coníferas e dicotiledônias.

Na forma fitológica, são classificadas em Angiospermas e Gimnospermas, onde as Gimnospermas têm como a classe elementar, as coníferas, nominadas na bibliografia internacional como *softwoods*, isto é, madeiras moles, discernindo assim das Angiospermas, classificadas na bibliografia internacional como *hardwoods*, madeiras duras (COSTA, 2001).

GONZAGA (2006), afirma que as dicotiledônias com suas variações e diferenças entre as coníferas, dispõem especializações de empregos dos tecidos mais relevantes. Ele cita ainda, que as dicotiledônias possuem propriedades especiais tais como os vasos/poros, que são células tubulares prolongadas, com ligações transversais elevando a seiva bruta. Já as fibras, são células longas dispostas na parede grossa, apresentando um vazio interior, denominado como lúmen com tamanhos variando entre 0,5 a 2,5 mm e constituindo maior parte do lenho, que tem como atribuição o suporte e estrutura que o tronco possui.

Parênquima tem como encargo o armazenamento e distribuição da seiva. E por fim, os raios são compostos por células curtas e paredes finais, onde armazenam, transformam e direcionam transversalmente a seiva elaborada. Na Figura 2.5 listada abaixo, pode-se observar um desenho esquemático da anatomia de uma dicotiledônia.

**Figura 2.5-** Desenho esquemático da anatomia da dicotiledônia



Fonte: GONZAGA, 2006.<sup>5</sup>

Conforme a ABNT NBR 7190:1997- PROJETOS DE ESTRUTURAS DE MADEIRA têm-se os seguintes coeficientes para determinação da resistência da madeira:

$\rho_{ap}$ : peso específico médio aparente, dependente da do teor de umidade;

$f_{c,k}$  : resistência à compressão na direção das fibras;

$f_{t,k}$ : resistência à tração na direção das fibras;

$f_{90,k}$ : resistência à tração normal às fibras;

$E_{c,m}$ : módulo de elasticidade médio na direção das fibras;

n: número de corpo de provas analisados.

<sup>5</sup> Disponível em: <[http://portal.iphan.gov.br/uploads/publicacao/CadTec6\\_MadeiraUsoEConservacao.pdf](http://portal.iphan.gov.br/uploads/publicacao/CadTec6_MadeiraUsoEConservacao.pdf)>.

Acesso em: 05 de setembro de 2019.

A sucupira branca caracteriza-se como dicotiledônia, segundo a NBR 7190 (ABNT, 1997), obtendo assim os coeficientes acima citados, dos seguintes valores retirados da tabela E. 1- Valores médios de madeiras dicotiledôneas nativas e de florestamento na NBR 7190: 1997.

Segundo a NBR 7190 (ABNT, 1997) as classes de resistência vêm com o objetivo de escolha adequada da madeira para a certa situação.

Na Tabela 2.4 a seguir, pode-se observar as classes de resistência para as madeiras dicotiledônias.

**Tabela 2.4-** Classes de resistência Dicotiledônia- Valores de referência U= 12%.

CLASSES	$f_{c0,k}(MPa)$	$f_{v0,d}(MPa)$	$E_{co,m}(MPa)$	$\rho_{bás}(kg / m^3)$	$\rho_{12}(kg / m^3)$
C20	20	4	9500	500	650
C30	30	5	14500	650	800
C40	40	6	19500	750	950
C60	60	8	24500	800	1000

Fonte: NBR 7190:1997 (MODIFICADO)

Onde:

$f_{c0,k}$ : carga característica da resistência à compressão paralela às fibras;

$f_{v0,d}$ : carga característica da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras;

$E_{co,m}$ : valor médio do módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras;

$\rho_{bás}$ : densidade básica;

$\rho_{12}$ : densidade aparente com umidade de referência de 12%.

Para obter os valores de cálculo, segundo a NBR 7190:1997, necessita-se também dos valores dos coeficientes de minoração das propriedades da madeira para o Estado limite último, para o caso de compressão paralela às fibras tem-se o valor  $\gamma_w = 1,4$ . Para o caso de tração paralela às fibras tem-se o valor de  $\gamma_w = 1,8$ . Para cisalhamento paralelo às fibras tem-se o mesmo  $\gamma_w = 1,8$ . Para utilização do estado limite de utilização, o coeficiente de minoração de resistência tem-se o valor  $\gamma_w = 1,0$ .

Os coeficientes de modificação ( $K_{\text{mod}1}$ ,  $K_{\text{mod}2}$  e  $K_{\text{mod}3}$ ) alteram as propriedades da madeira que não foram incididos pelos coeficientes de minoração ou ponderação. Segundo a NBR 7190 (ABNT,1997) deve-se adotar coeficientes de modificação que abrange o carregamento da estrutura, classe de umidade e emprego de madeira sem defeitos, chegando-se a seguinte forma de cálculo através da Equação 2.5:

$$K_{\text{mod}} = K_{\text{mod}1} \times K_{\text{mod}2} \times K_{\text{mod}3} \quad (2.5)$$

Para encontrar os valores, a norma fornece também as tabelas de cada coeficiente de modificação ( $K_{\text{mod}}$ ), apresentadas a seguir:

O valor de  $K_{\text{mod}1}$  é definido a partir da classe de carregamento e do tipo de material empregado como mostra a Tabela 2.5 a seguir:

**Tabela 2.5-** Valores de  $K_{\text{mod}1}$

<b>CLASSE DE CARREGAMENTO</b>	<b>MADEIRA SERRADA, LAMINADA COLADA, COMPENSADA</b>	<b>MADEIRA RECOMPOSTA</b>
Permanente	0,60	0,30
Longa Duração	0,70	0,45
Média Duração	0,80	0,65
Curta Duração	0,90	0,90
Instantânea	1,10	1,10

Fonte: NBR 7190:1997

O valor de  $K_{\text{mod}2}$  é atribuído em função da classe de umidade da madeira que será utilizada, como mostra a Tabela 2.6 a seguir:

Tabela 2.6- Valores de  $K_{mod2}$ 

CLASSE DE UMIDADE	MADEIRA SERRADA, LAMINADA COLADA, COMPENSADA	MADEIRA RECOMPOSTA
1 e 2	1,0	1,0
3 e 4	0,8	0,9

Fonte: NBR 7190:1997

O valor de  $K_{mod3}$  é obtido pela categoria estrutural da madeira utilizada, como mostra a Tabela 2.7 à seguir:

Tabela 2.7- Valores do  $K_{mod3}$ 

PRODUTO DE MADEIRA	TIPO DE MADEIRA	CATEGORIA	$k_{mod3}$
Serrada	Dicotiledônias	1ª categoria	1,0
		2ª categoria	0,8
		Coníferas	1ª ou 2ª
Laminada e colada	Qualquer	1ª ou 2ª- peça curva	$1,0 - \frac{2000}{t} r^2$
		Peça reta	1,0

Fonte: NBR 7190:1997

Obtendo assim, todos os valores para o cálculo da propriedade da madeira citada pela Equação 2.5 acima.

## 2.6 ENSAIOS NA MADEIRA

Para determinar as propriedades mecânicas resistentes da madeira, devem ser realizados ensaios com no mínimo seis corpos de prova eximido de defeitos, normalmente com seção retangular (5,0 x 5,0 cm). A variação dessas propriedades se dá de acordo com a variação da taxa de umidade da amostra, recomenda-se assim, obter a



determinação da taxa de umidade. Em ensaios padronizados, têm-se desfechos dessas características de acordo com a umidade padrão de 12% (PFEIL, 2015).

A madeira tem como direção mais resistente, a direção considerada paralela às fibras, referente ao estado que as fibras se compõem na madeira, onde tem como orientação a direção longitudinal do tronco da árvore (AGHAYERE et al., 2007).

### 2.6.1 Compressão paralela às fibras

O ensaio de compressão é realizado através da aplicação de uma carga de compressão uniaxial em um estabelecido plano de seção de um corpo de prova. São usados corpos de prova padronizados de 5cm x 5cm x 15cm, sofrendo um carregamento, onde ao ser acrescido, testa o quanto deforma sucessivamente estágios de carregamento. Para realização deste, necessita-se da subvenção de extensômetros mecânicos ou transdutores de deslocamentos para medir o encurtamento  $\Delta_l$  sobre uma base de medida  $l_0$ , para assim, realizar-se o diagrama tensão x deformação. Há um trecho linear na realização do ensaio, onde o comportamento do material é elástico, até a tensão limite proporcional. Após essa tensão não há mais comportamento linear. Quando a compressão altera, as células que compõe as fibras agem como tubos de paredes finas paralelos e grudados entre si, havendo a fratura do material ligante e flambagem das células, denominado de  $N_u$  a carga de ruptura (PFEIL, 2015).

Para determinação da resistência a compressão paralela às fibras  $f_{c,0}$ , segundo a NBR 7190 (ABNT,1997) serão realizados ensaios de compressão uniforme, onde os corpos de prova terão seção transversal retangular de 5cm x 15cm e duração total entre 3 a 8 minutos.

A Equação 2.6 a seguir, é utilizada para cálculo da tensão de ruptura ou resistência à compressão simples:

$$f_c = \frac{N_u}{A} \quad (2.6)$$

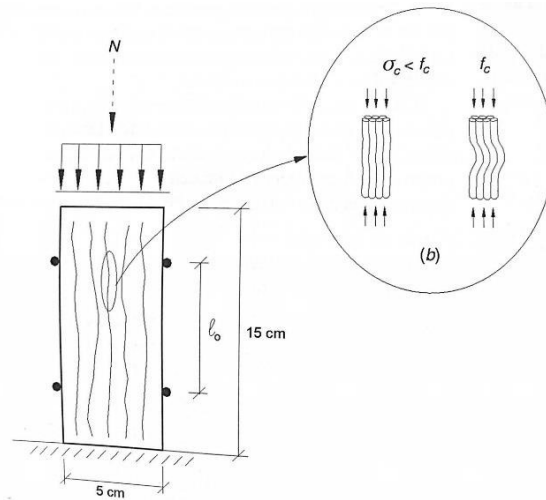
Onde:

$f_c$ : Resistência a compressão paralela às fibras;

$N_u$ : Carga de ruptura;

A: Área do corpo de prova.

**Figura 2.6** - Esquemática do ensaio de compressão paralela às fibras e o mecanismo de ruptura associado à flambagem das fibras.



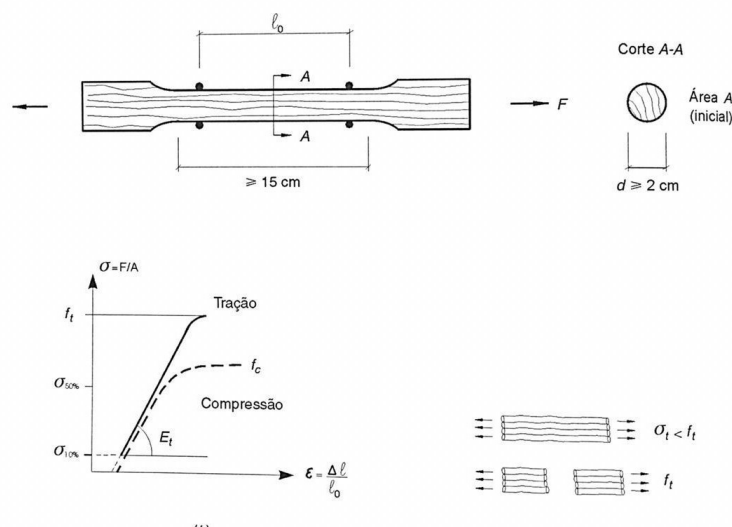
Fonte: PFEIL, 2015.

### 2.6.2 Tração paralela às fibras

A resistência a tração paralela às fibras, é dependente da direção que as fibras estão no tronco da árvore, tornando-se ser maior em até 50 vezes que a resistência normal as fibras, já que a mesma não tem interferência na junção entre as fibras. (FARIA et al., 2009)

Caracteriza-se pelo regime linear até tensões próximas a ruptura  $f_t$ , e pequenas variações. Os corpos de prova têm dimensões maiores nas regiões das garras, garantindo que a ruptura aconteça na região central da peça. (PFEIL, 2015). Na Figura 2.7 pode-se observar a ilustração do corpo de prova e do diagrama tensão x deformação do ensaio de tração paralela as fibras.

**Figura 2.7** - Corpo de prova e diagrama tensão x deformação.



Fonte: (PFEIL, 2015)

No item 7.2.2 da NBR 7190 (ABNT, 1997) descreve como devem ser realizados esses ensaios, onde quando a reação da madeira tracionada for elasto-frágil e sua resistência não puder ser calculada através do ensaio de tração uniforme, deve-se verificar o item 6.3.3 da norma, que diz permitir a resistência de espécies comuns fundamentado nos ensaios de compressão paralela às fibras. Quando a resistência for calculada para esforços normais, há um coeficiente de variação de 18% e quando for esforços tangenciais o coeficiente terá 28%.

Para determinação da resistência à tração paralela às fibras  $f_{t,0}$  segundo a NBR 7190 (ABNT, 1997) os corpos de prova são alongados, com o trecho central da seção transversal uniforme de área  $A$  e comprimento não inferior a  $8A$ , onde suas extremidades são mais resistentes que o trecho central, garantindo que a ruptura aconteça no trecho central.

Para as barras que são tracionadas axialmente, tem como condição de segurança a Equação 2.7:

$$\sigma \leq f_{t,d} \quad (2.7)$$

Onde permite-se ignorar a influência da inclinação das fibras em relação ao eixo longitudinal da peça tracionada até o ângulo  $\alpha = 60^\circ$ .

## 2.7 ENVELHECIMENTO DA MADEIRA

A madeira é um material plurivalente e para atingir um satisfatório desempenho em seus empregos é dependente da resistência mecânica que ela alcança, seja natural ou por meio de um determinado tratamento. Contudo, grande parte das espécies florestais estão sujeitas a ação de intempéries, onde podem alterar as características iniciais ou até limitar o uso da espécie (GONÇALEZ et al., 2010).

HON (2001), caracteriza o intemperismo como o comportamento entre a ação que o sol, a chuva, o orvalho, a umidade e o vento promovem na superfície da madeira. Quando a madeira está sujeita às intempéries durante um curto período, suas propriedades físicas já podem ser alteradas, tais como morfologia e cor.

Os primeiros danos identificados na madeira ao sofrer a ação do intemperismo são na aparência estética, porém, a radiação ultravioleta UV (30-40nm) ocasionam reações na decomposição química, agredindo os constituintes da madeira, e conseqüentemente comprometendo as propriedades físicas, químicas, anatômicas e mecânicas da mesma (PASTORE, et al., 2008).

CREEMERS, et al (2002), cita ainda que quaisquer elementos climáticos, provocam e influenciam de forma intensa e complexa os danos ocasionados na madeira. Para o envelhecimento acelerado da madeira, este fator tem suma importância.

O envelhecimento inicia através das alterações colorimétricas onde se decorrem a rugosidade e a perda do brilho em consequência da combinação entre a ação da luz UV solar e a umidade; com a oxidação e a temperatura (LESAR et al., 2011).

No momento em que a madeira sofre essas ações, os agentes ocasionam a despolimerização da lignina que é o elemento químico presente na parede celular da madeira mais propenso aos intempéries, particularmente a luz UV, que pode absorver entre 80 a 95% da radiação solar, em virtude da presença de conjuntos fenólicos compostos em sua estrutura molecular (QIAN et al., 2017).

A metodologia *Near Infrared Spectroscopy* (NIR), que tem como significado espectroscopia no infravermelho, tem grande precisão, detectando tais modificações de forma rápida e precisa nos espectros das substâncias analisadas. O NIR demonstra uma faixa do espectro da radiação eletromagnética com ondas entre 800 e 2.400 nm. As mudanças no espectro por efeito das mudanças na sua composição química podem ser quantificadas e são de utilidade técnica (POPE, 1995).

### **2.7.1 Câmara de envelhecimento acelerado e intemperismo para não metálicos (C-UV)**

A câmara de envelhecimento acelerado e intemperismo para não metálicos (C-UV), trata-se de uma simulação da força de destruição que a natureza possui, considerando que os materiais serão expostos à intempéries e sua durabilidade e resistência será testada. Em alguns dias ou semanas a C-UV simula uma degradação que só decorreria em meses ou anos. Os efeitos simulados são a chuva, neblina e efeitos da luz do sol.

Para os efeitos da luz do sol como ocorreria na natureza, são trabalhados por um composto de 8 fontes concentradas de radiação UV, onde apenas 5% ocasionam degradação. A neblina e a chuva, o sistema gera a condensação com água potável saturada de oxigênio. Isto posto, são demonstrados os efeitos destrutivos causados pelo intemperismo, por exemplo, alteração na cor ou brilho, calcinação, perda de opacidade, perda da aderência ou resistência, surgimento de trincas etc.

### 3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para a elaboração deste trabalho constituiu em pesquisa bibliográfica a fontes relacionadas aos temas sobre estruturas de madeira e intemperismo artificial de autores referenciados no assunto e foram consultados também teses de mestrado e doutorado. Na realização da parte experimental, foi utilizada como base de consulta e direcionamento a norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR 7190/1997 – Projeto de Estruturas de madeira.

#### 3.1 OBTENÇÃO DO MATERIAL

Segundo o Instituto Brasileiro de Florestas a espécie *Pterodon Emarginatus* é considerada uma madeira pesada, resistente e com grande durabilidade em contato com o solo e umidade, tornando assim adequada a algumas aplicações da construção civil, tais como assoalhos de vagões e pilares de pontes, tornando então necessário o conhecimento de suas propriedades e estudar suas corretas aplicações.

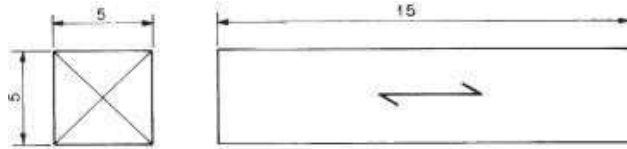
A madeira de Sucupira Branca usada para a confecção dos corpos de prova foi proveniente da Fazenda Santa Bárbara, com sede em Barro Alto, GO. As amostras foram extraídas seguindo o mesmo padrão, como sugere a NBR 7190/1997, item B.2, evitando-se defeitos e as extremidades das peças.

#### 3.2 CORPOS DE PROVA

Os corpos de prova foram confeccionados em uma madeireira de acordo com a NBR 7190 (ABNT,1997). Utilizou-se o total de 32 corpos de prova, o equivalente a oito amostras para cada um dos quatro ensaios para a determinação das propriedades físicas e mecânicas abordadas neste trabalho.

Os corpos de prova que foram utilizados nos ensaios de compressão paralela às fibras apresentam forma prismática com seção transversal quadrada de 5 cm de lado e 15 cm de comprimento, como mostra a Figura 3.1.

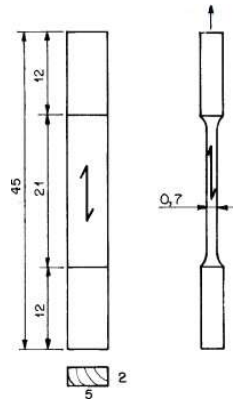
**Figura 3.1-** Dimensões do corpo de prova para ensaio de compressão paralela às fibras.



Fonte: Adaptado NBR7190/97.

Para a determinação da resistência da tração paralela às fibras, foram confeccionados corpos de prova conforme indicado na Figura 3.2.

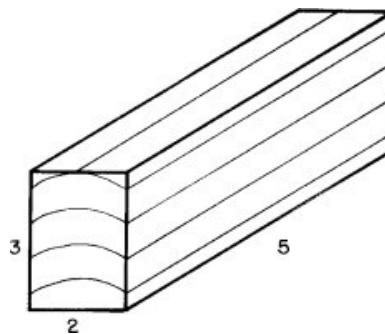
**Figura 3.2-** Dimensões do corpo de prova para ensaio de tração paralela às fibras.



Fonte: Adaptado NBR7190/97.

Para a determinação das propriedades físicas de retração e densidade da madeira os corpos de prova foram confeccionados com seção transversal retangular de 2 cm x 3 cm de lado e comprimento ao longo das fibras de 5 cm, de acordo com a Figura 3.3.

**Figura 3.3-** Dimensões do corpo de prova para a determinação das propriedades de retração e densidade.



Fonte: Adaptado NBR7190/97.

### 3.3 PREPARO DOS CORPOS DE PROVA PARA OS ENSAIOS

A cada 8 corpos de prova, 4 foram sujeitos ao ensaio de envelhecimento acelerado. Os ensaios foram realizados pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas), em São Paulo -SP, através de uma câmara de intemperismo artificial UV- exposição a luz fluorescente, durante um total de 72 horas.

Para a análise do intemperismo acelerado foi utilizada uma câmara de teste de radiação UV/condensação, modelo EQUV-RC, que proporciona a simulação dos efeitos de degradação nos corpos de prova ocasionados pela luz solar, chuva e orvalho. Os materiais foram submetidos a ciclos alternados de radiação, temperatura e umidade, monitorados seguindo de acordo com a norma da *American Society for Testing and Materials* - ASTM G154 – 12a, ciclo 7 (ASTM, 2012). A Tabela 3.1 apresenta os parâmetros técnicos que foram aplicados nos ensaios.

**Tabela 3.1-** Parâmetros técnicos dos ciclos de intemperismo aplicados no ensaio de intemperismo artificial acelerado.

Parâmetro Técnico	Característica
Exposição luminosa	8h na faixa do ultravioleta (UV) a $60 \pm 3^\circ\text{C}$
Exposição à umidade	0,25 h de umidade com spray (sem luz) em temperatura não controlada
Condensação	3,75 h de condensação a $50 \pm 3^\circ\text{C}$
Radiação	1,35W/m <sup>2</sup> /nm com o uso de lâmpadas UVA 340 com comprimento de onda de aproximadamente 340 nm.

Fonte: <<https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr115/cap14.pdf>>. Acesso em 05 de setembro de 2019

As amostras são posicionadas em toda a área que houver no equipamento. Foram um total de 24 horas por ciclo de teste, totalizando 3 ciclos, divididos em períodos como 0 horas, 24 horas, 48 horas, 72 horas de exposição ao equipamento.

Após esse período foram realizados os ensaios de tração, compressão, retração e densidade nesses corpos de prova.



### 3.4 PROPRIEDADES MECÂNICAS

#### 3.4.1 Compressão paralela às fibras

Todos os corpos de prova foram padronizados com seção transversal 5cm x 5cm x 15cm, como sugere a NBR 7190/1997 para aplicação do carregamento e consequentemente a carga máxima suportada. Tanto os corpos de prova em seu estado natural, quanto os corpos de prova envelhecidos foram ensaiados, medidas sua resistência e comparadas em suas duas formas. Foram utilizadas 8 amostras para realização deste ensaio, sendo 4 para o estado natural da madeira e 4 para as amostras envelhecidas.

O procedimento foi realizado no centro tecnológico do Instituto Federal de Goiás-Câmpus Trindade, e utilizou-se uma máquina de ensaios EMIC 23-100, com carga máxima de 100 kN, para a aplicação de um carregamento crescente de aproximadamente 10 MPa/min. que efetua pressão no sentido paralelo às fibras da madeira até sua ruptura. Ao iniciar o ensaio, a primeira amostra sofreu a compressão da carga de 85 kN, mas com o passar dos minutos, pôde-se observar que a máquina não estavam causando resultados satisfatórios na amostra para chegar a ruptura. O técnico do laboratório sugeriu assim que a amostra fosse transferida para a máquina INTERMETRIC CT201.C que possui uma capacidade de carga maior. Assim foi feito, mas a primeira amostra já havia então um pré-carregamento, o que ocasionou uma diferença nos resultados, a primeira amostra resistiu menos que as demais por já possuir essa pré carga. A partir deste ensaio obteve-se a resistência à compressão nas amostras antes e após seu envelhecimento acelerado. Na Figura 3.4 pode-se observar a máquina que foram realizados os ensaios à compressão

**Figura 3.4** – Máquina INTERMETRIC CT201.C.



Fonte: Próprio autor, 2019.

### **3.4.2 Tração paralela às fibras**

Todos os corpos de prova obtiveram seção transversal padrão, como sugere a NBR 7190/1997, sendo suas dimensões 5 cm x 2 cm x 45 cm e no meio da amostra 7 cm de largura para realização dos ensaios seguindo a norma. A resistência das amostras foram testadas tanto em seu estado natural, tanto depois de envelhecidas chegando-se nos resultados através de uma forma comparativa entre os mesmos. Foram utilizadas 8 amostras para realização deste ensaio, sendo 4 para o estado natural da madeira e 4 para as amostras envelhecidas.

Realizou-se o ensaio à tração no centro tecnológico do Instituto Federal de Goiás-Câmpus Trindade, as amostras foram rompidas pela máquina modelo EMIC 23-100 observada na Figura 3.5. Após a fixação do corpo de prova na máquina de ensaios EMIC 23-100, a carga foi aplicada de forma contínua até a ruptura da amostra para determinar a carga máxima. Todas as amostras foram ensaiadas, totalizando 8 amostras para cada ensaio, sendo 4 na madeira em seu estado natural e 4 na madeira já envelhecida.

**Figura 3.5-** Máquina EMIC 23-100 da realização dos ensaios à tração.



Fonte: Próprio autor, 2019.

Na Figura 3.6, pode-se observar a amostra já encaixada na máquina nos ajustes finais para realização do ensaio.

**Figura 3.6-** Amostra já encaixada na máquina



Fonte: Próprio autor, 2019.

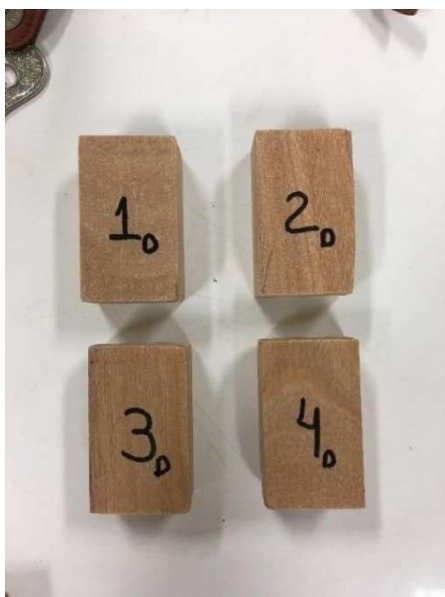
### 3.5 PROPRIEDADES FÍSICAS

#### 3.5.1 Retração e densidade

Para a determinação da retração e densidade, os corpos de prova foram pesados utilizando balança de precisão e medidos com paquímetro para determinação das medidas secas, logo após eles foram emersos em água por 168 horas, e pôde-se observar que não houve alterações em suas dimensões. A partir destas anotações realizou-se os cálculos específicos para cada propriedade física, utilizando as Equações 2.1 e 2.2 presentes no Capítulo 2 deste trabalho.

Na Figura 3.7 pode-se observar os corpos de prova, em seu estado natural, que foram utilizados para realização dos cálculos de densidade, antes de serem imersos na água.

**Figura 3.7-** Corpos de prova em seu estado natural para cálculo da densidade.



Fonte: Próprio autor, 2019.

Na Figura 3.8 pode-se observar os corpos de prova, após o procedimento de envelhecimento acelerado, que foram utilizados para realização dos cálculos de densidade, antes de serem imersos na água.

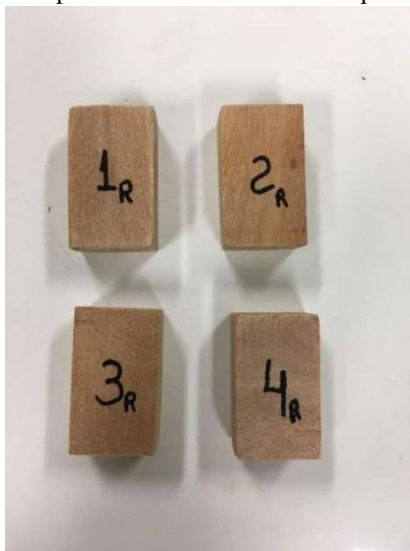
**Figura 3.8-** Corpos de prova envelhecidos para cálculo da densidade.



Fonte: Próprio autor, 2019.

Na Figura 3.9 pode-se observar os corpos de prova, em seu estado natural, que foram utilizados para realização dos cálculos de retração, antes de serem imersos na água.

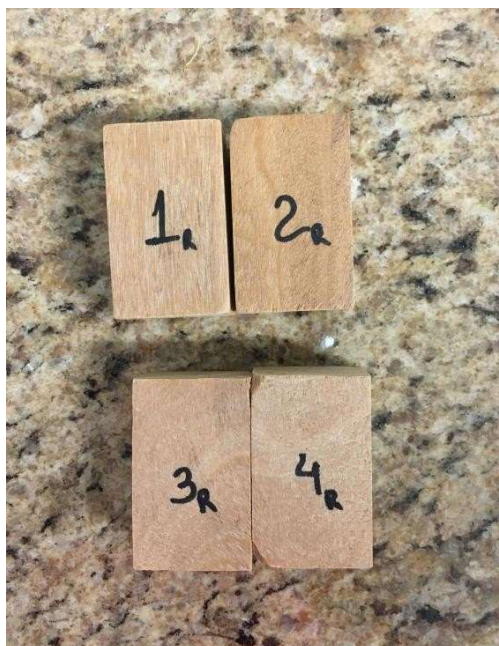
**Figura 3.9 -** Corpos de prova em seu estado natural para cálculo da retração.



Fonte: Próprio autor, 2019.

Na Figura 3.10 pode-se observar os corpos de prova, após o procedimento de envelhecimento acelerado, que foram utilizados para realização dos cálculos de retração, antes de serem imersos na água.

**Figura 3.10** - Corpos de prova em seu estado natural para cálculo da retração.



Fonte: Próprio autor, 2019.

### 3.6 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Os resultados encontrados nos ensaios físicos e mecânicos foram apresentados em uma análise comparativa entre os corpos de prova naturais e aos expostos ao intemperismo artificial, por meio de tabelas.

## 4. ANÁLISES E RESULTADOS

### 4.1 ENSAIO À TRAÇÃO

Primeiramente foi realizado o ensaio de tração dos corpos de prova em seu estado natural, alcançando os resultados demonstrados na Tabela 4.2.

**Tabela 4.2-** Obtenção dos resultados nas amostras em seu estado natural após o ensaio de resistência à tração.

Corpo de prova	Carga máxima (kN)	Tensão na madeira (MPa)
1	19,52	2,789
2	24,57	3,510
3	26,29	3,756
4	11,36	1,623

Fonte: Próprio autor, 2019.

Realizando a média entre as tensões encontradas, conforme item B.4 da NBR 7190/1997, atingiu-se o valor médio de tensão  $\sigma = 2,919$  MPa. Na Figura 4.1 pode-se observar como as amostras ficaram após a realização do ensaio e percebe-se que a maior parte das amostras romperam nas extremidades.

**Figura 4.1** - Amostras em seu estado natural após a ruptura.



Fonte: Próprio autor, 2019.

Logo após, iniciou-se o ensaio dos corpos de prova que passaram pelo processo de intemperismo acelerado, alcançando os resultados abaixo na Tabela 4.3.

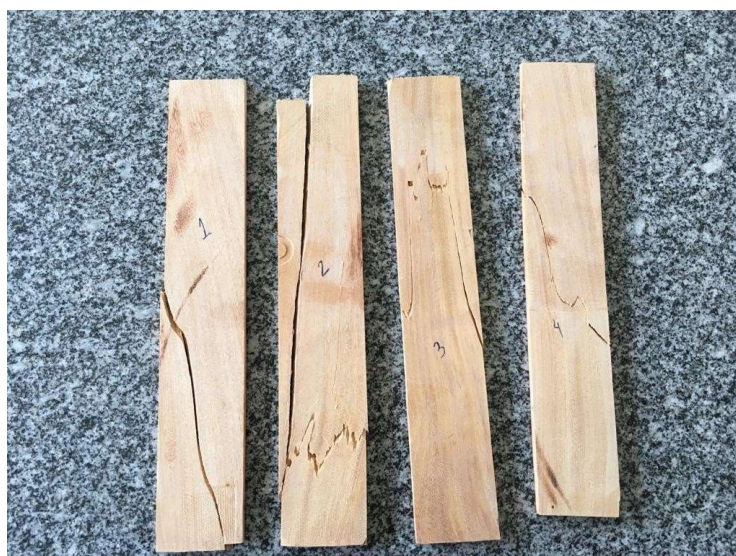
**Tabela 4.3-** Obtenção dos resultados das amostras envelhecidas após o ensaio de resistência à tração.

Corpo de prova	Carga máxima (kN)	Tensão na madeira (MPa)
1	25,22	3,603
2	20,05	2,864
3	10,35	1,479
4	20,32	2,903

Fonte: Próprio autor, 2019.

Realizando a média entre as tensões encontradas, conforme item B.4 da NBR 7190/1997, atingiu-se o valor médio de tensão  $\sigma = 2,712$  MPa. Na Figura 4.2 pode-se observar como as amostras ficaram após a realização do ensaio e assim como os corpos de prova em seu estado natural, as amostras envelhecidas também, em sua maioria, romperam nas extremidades.

**Figura 4.2 -** Amostras envelhecidas após a ruptura.



Fonte: Próprio autor, 2019.

Analisando os resultados encontrados para os ensaios de tração, em porcentagem, pode-se observar que a tensão da madeira após o processo de envelhecimento é 7,62%



menor em relação aos corpos de prova em seu estado natural.

## 4.2 ENSAIO À COMPRESSÃO

Na Tabela 4.4 observa-se os resultados obtidos para os corpos de prova em seu estado natural.

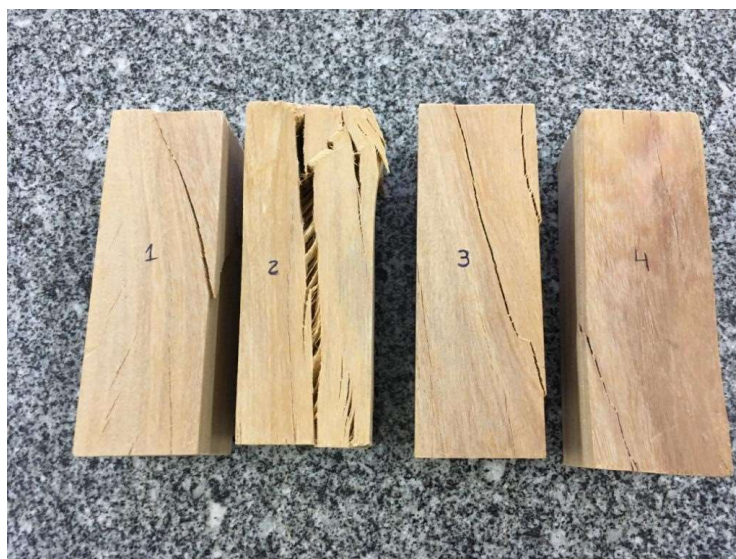
**Tabela 4.4-** Obtenção dos resultados nas amostras em seu estado natural após o ensaio de resistência à compressão.

Corpo de prova	Carga máxima (kN)	Tensão na madeira (MPa)
1	143,10	4,77
2	122,80	4,09
3	132,70	4,42
4	134,80	4,49

Fonte: Próprio autor, 2019.

Realizando a média entre as tensões encontradas, conforme item B.4 da NBR 7190/1997, atingiu-se o valor médio de tensão  $\sigma = 4,44$  MPa. Na Figura 4.3 pode-se observar como os corpos de prova ficaram após a realização do ensaio.

**Figura 4.3** - Amostras em seu estado natural após a ruptura.



Fonte: Próprio autor, 2019.

Em seguida foi realizado o ensaio dos corpos de prova que passaram pelo processo de intemperismo acelerado, alcançando os resultados demonstrados na Tabela 4.5.

**Tabela 4.5-** Obtenção dos resultados nas amostras envelhecidas após o ensaio de resistência à compressão.

Corpo de prova	Carga máxima (KN)	Tensão na madeira (Mpa)
1	75,30 <sup>6</sup>	2,510
2	109,70	3,657
3	124,60	4,153
4	174,90	5,830

Fonte: Próprio autor, 2019.

Realizando a média entre as tensões encontradas, conforme item B.4 da NBR 7190/1997, atingiu-se o valor médio de tensão  $\sigma = 4,04$  MPa. Na Figura 4.4 pode-se observar como as amostras ficaram após a realização do ensaio

**Figura 4.4-** Amostras envelhecidas após a ruptura.

Fonte: Próprio autor, 2019.

Através das Figuras 4.3 e 4.4 pode-se observar que os corpos de prova romperam no sentido paralelo às fibras e a partir da análise dos resultados encontrados para os ensaios de compressão, em porcentagem, pode-se observar que a tensão da madeira após o processo de envelhecimento é 10% menor em relação aos corpos de prova em seu estado natural.

<sup>6</sup> Quando iniciou-se os ensaios a compressão, teve continuidade na máquina EMIC 23-100, mas ela não obtinha carga suficiente para continuação do mesmo. Posteriormente, as amostras foram transferidas para INTERMETRIC CT201.C, havendo assim uma pré carga ao continuar ao ensaio, interferindo assim nos resultados, de forma negativa, diminuindo sua resistência final

### 4.3 DENSIDADE

Na Tabela 4.6, a seguir, encontram-se os valores obtidos para a massa seca e volume saturado das amostras em seu estado natural.

**Tabela 4.6-** Obtenção dos resultados após o ensaio de densidade na madeira em seu estado natural.

Corpo de prova	Massa seca (kg)	Volume saturado (m <sup>3</sup> )
1	0,027743	0,000033046
2	0,027619	0,000033219
3	0,029976	0,000033638
4	0,028463	0,000033368

Fonte: Próprio autor, 2019.

A partir dos valores obtidos realizou-se a média aritmética, conforme item B.4 da NBR 7190/1997 e foi encontrado o valor médio de densidade de  $\rho = 853,90 \text{ Kg/m}^3$ .

Na Tabela 4.7, a seguir, encontram-se os valores obtidos para a massa seca e volume saturado das amostras após o procedimento de envelhecimento acelerado.

**Tabela 4.7-** Obtenção dos resultados após o ensaio de densidade na madeira envelhecida.

Corpo de prova	Massa seca (kg)	Volume saturado (m <sup>3</sup> )
1	0,027117	0,000032619
2	0,029800	0,000033105
3	0,027435	0,00003367
4	0,026758	0,00003294

Fonte: Próprio autor, 2019.

A partir dos valores obtidos realizou-se a média aritmética, conforme item B.4 da NBR 7190/1997 e foi encontrado o valor médio de densidade de  $\rho = 839,60 \text{ Kg/m}^3$ .

A partir da análise dos resultados encontrados, em porcentagem, pode-se observar que a densidade da madeira após o processo de envelhecimento é 1,71% menor em relação aos corpos de prova em seu estado natural.

Observando-se a classificação de densidade do IBAMA (1991), pode-se afirmar com estes resultados, que a espécie é constituída de madeira dura (densidade acima de  $720 \text{ kg/m}^3$ ).

#### 4.4 RETRAÇÃO

A partir dos dados coletados encontrou-se os valores para a massa seca e volume saturado das amostras em seu estado natural, apresentados na Tabela 4.8 a seguir

**Tabela 4.8-** Obtenção dos resultados após o ensaio de retração na madeira no estado natural.

Corpo de prova	$L_{\text{saturado}}$ (mm)	$L_{\text{seco}}$ (mm)
1	52	52
2	52	52
3	52	52
4	51,7	51,5

Fonte: Próprio autor, 2019.

Realizando a média aritmética, conforme item B.4 da NBR 7190/1997, atingiu o valor de retração de  $\varepsilon = 0,0964 \%$

A partir dos dados coletados encontrou-se os valores para a massa seca e volume saturado das amostras, apresentados na Tabela 4.9 a seguir.

**Tabela 4.9-** Obtenção dos resultados após o ensaio de retração na madeira envelhecida.

Corpo de prova	$L_{\text{saturado}}$ (mm)	$L_{\text{seco}}$ (mm)
1	51	50,85
2	52	52
3	51,7	51,65
4	51,25	51

Fonte: Próprio autor, 2019.

Realizando a média aritmética, conforme item B.4 da NBR 7190/1997, atingiu o valor de retração de  $\varepsilon = 0,2189 \%$ .

A partir da análise dos resultados encontrados, pode-se observar que a retração da madeira após o processo de envelhecimento é maior em relação aos corpos de prova em seu estado natural. Ou seja, os corpos de prova que passaram pelo procedimento de intemperismo artificial tiveram maiores variações em suas dimensões do que a madeira em seu estado natural. Na tabela 4.10 pode-se então observar o comparativo em porcentagem de uma forma geral do quanto o envelhecimento interferiu nas propriedades físicas e

mecânicas da espécie.

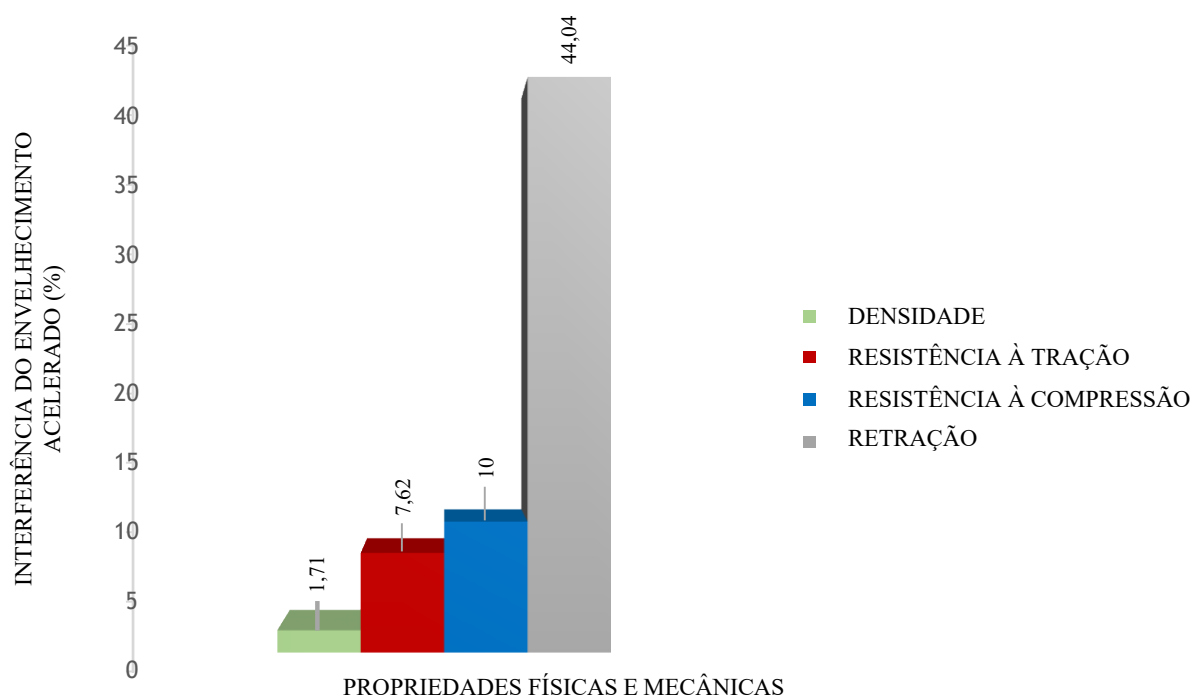
**Tabela 4.10-** Obtenção dos resultados em porcentagem sobre a interferência do envelhecimento acelerado nas amostras.

Interferência do envelhecimento acelerado (%)	Resistência à tração	Resistência à compressão	Densidade	Retração
	7,62	10	1,71	44,04

Fonte: Próprio autor, 2019.

Ainda para um comparativo visual melhor, tem-se abaixo o gráfico 4.1, demonstrando o percentual da influência do envelhecimento acelerado nas amostras, sendo respectivamente densidade, resistência à tração, resistência à compressão e retração.

**Gráfico 4.1-** Comparativo em porcentagem da influência do envelhecimento acelerado nas amostras.



Fonte: Próprio autor, 2019.

## 5 CONCLUSÃO

A partir da comparação dos resultados obtidos das propriedades mecânicas de compressão e tração paralela às fibras para a madeira de *Pterodon Emarginatus* (VOGEL), conclui-se que a variação da resistência mecânica apresenta tendência de redução de 7,62% e 10% na resistência à tração e compressão respectivamente, após a madeira ser exposta ao processo de envelhecimento acelerado, apontando uma redução maior na resistência à compressão.

O mesmo acontece com a densidade. Com base nos resultados, esta propriedade física também apresenta redução de 1,71 % após sujeita à intempéries variadas, mas em proporções bem menores comparada às propriedades mecânicas. Já a retração, os corpos de prova envelhecidos tiveram coeficiente de retração maior do que as amostras em seu estado natural, obtendo então um aumento de 44,04 % após o ensaio. Mostra-se que após envelhecida a madeira tende a ter suas dimensões alteradas em maiores proporções, no presente trabalho elas não podem ser vistas a olho nu, mas de acordo com os cálculos pode-se observar que houve alterações significativas.

Em relação à sua utilização na construção civil, como os resultados encontrados foram aproximados com os das literaturas citadas pode-se afirmar que a madeira sucupira branca por ser pesada, dura, com resistência mecânica entre média e alta pode ser utilizada para construção de estruturas em geral onde estas características são exigidas.

Como os comparativos dos resultados em relação à resistência da mesma e às propriedades físicas não apresentaram alterações muito bruscas, sugere-se um estudo de maior tempo de exposição ao intemperismo artificial para avaliação destas propriedades após uma simulação de anos de envelhecimento, podendo ser analisado se os resultados para esta espécie apresentariam diferenças maiores.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGHAYERE, A., VIGIL, J. Structural Wood Design. **A practice-oriented approach using the ASD method.** John Wiley & Sons, Inc., Nova Jérsea (Estados Unidos da América, 2007).

ALMEIDA, Filipe André Leitão De. **A MADEIRA COMO MATERIAL ESTRUTURAL – PROJETO DA ESTRUTURA DA COBERTURA DE UM EDIFÍCIO.** FEUP. 2012.

Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/72613/1/000155383.pdf>

ÁRVORES DO BIOMA CERRADO. **Sucupira branca.** Disponível em:

<<http://www.arvoresdobiomacerrado.com.br/site/2017/09/23/pterodon-pubescens-benth-benth/>>. Acesso em 24 de março de 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190:1997-**PROJETOS DE ESTRUTURA DE MADEIRA.** ANEXO E, pág. 90.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190 – **Projeto de estruturas de madeira** – Anexo B, Rio de Janeiro, Brasil, p.50-58, 65-67, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT – NBR 7190. **PROJETOS DE ESTRUTURAS DE MADEIRA.** Rio de Janeiro, 1997. 107p.

AMERICAN SOCIETY TESTING MATERIALS. G154-12<sup>a</sup>- **Standard Practice for Operating Fluorescent Ultraviolet (UV).** Lamp Apparatus for Exposure of Nonmetallic Materials. 2012

COSTA, A. **Coletâneas de anatomia da madeira.** 2001, 42 p.

COUTINHO, J. (1999). **Materiais de Construção 1. Madeiras.** Policopiado (FEUP), Porto.

CREEMERS, J.; MEIJER, M.; ZIMMERMANN, T.; SELL, J. **Influence of Climatic Factors on the Weathering of Coated Wood.** Holz als Roh- und Werkstoff, v.60, n. 6, p. 411–420, 2002.

CRUZ, H., RODRIGUES, M. (1997). Fichas do LNEC – **Madeiras para construção. Umidade na madeira.** LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

DENNY, C. **Atividade antiinflamatória do óleo de sucupira: Pterodon pubescens Benth.** (2009).

DURLO, M. A.; MARCHIORI, J. N. C. **Tecnologia da madeira: retratibilidade.** Santa Maria: CEPEF/FATEC, 1992. 33p.

FARIA, A., NEGRÃO, J. **Projeto de Estruturas de Madeira.** Publindústria, Edições Técnicas, 2009, Porto.

FERNANDES, P.S. **Variações de Densidade da Madeira e suas Relações com as Tensões de Crescimento em Progênies de Eucalyptus urophylla S.T. Blake.** 1982. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

FIGUEROA, Manuel Jesús Manríquez. **Coefficientes de Modificação das Propriedades Mecânicas da Madeira devidos à Temperatura.** Tese de Doutorado. 2012. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

FOELKEL, C. **Casca da árvore do eucalipto: Aspectos morfológicos, fisiológicos, florestais, ecológicos e industriais, visando a produção de celulose e papel.** 2006. Disponível em: < <http://www.eucalyptus.com.br/> >. Acesso em: 11 de junho de 2019.

GALVAO, A.P.M. e JANKOWSKY, I.P. **Secagem racional da madeira.** São Paulo, Nobel, 1985. 112p.

GARCIA, Amauri; SPIM, Jaime Alvares; SANTOS, Carlos Alexandre. **Ensaio dos Materiais.** Rio de Janeiro – RJ: Editora LTC, 2000.

GESUALDO, F.A.R. **Estruturas de madeira** – Notas de aula. Universidade Federal de Uberlândia, 2003, 98p.

GONÇALEZ, J. C; FÉLIX, T. L. F; GOUVEIA, F. N; CAMARGOS, J. A. A.; RIBEIRO, P.

G; **Efeito da radiação ultravioleta na cor da madeira de freijó (Cordia goeldiana Huber) após receber produtos de acabamentos.** Santa Maria, Rev. Ciência Florestal,



vol. 20, núm4, p. 657-664, out/dez, 2010.

GONZAGA, Armando Luiz. **Madeira: uso e conservação**. Caderno técnico 6. Brasília-DF: IPHAN/MONUMENTA, 2006. Disponível em: (<[http://portal.iphan.gov.br/uploads/publicacao/CadTec6\\_MadeiraUsoEConservacao.pdf](http://portal.iphan.gov.br/uploads/publicacao/CadTec6_MadeiraUsoEConservacao.pdf)>.) Acesso em 05 de setembro de 2019.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos materiais**. 5ª ed. São Paulo – SP: Editora Pearson Prentice Hall, 2004.

HON, D. N. S. **Weathering and photochemistry of wood**. In: Hon, D.N.-S.; Shiraishi, N. Wood and cellulosic chemistry. 2.ed. New York: Marcel Dekker, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORESTAS. **Lista de espécies nativas: sucupira branca**. Disponível em: <<https://www.ibflorestas.org.br/lista-de-especies-nativas/sucupira-branca>>. Acesso em: 30 dezembro de 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Normas de procedimentos em estados de anatomia de madeira. I. Angiospermae, II. Gimnospermae**. Brasília: Laboratório de produtos florestais, 1991. 19p. (Série técnica, 15).

LESAR, B.; PAVLIC, M.; PETRIC, M.; SKAPIN, A. S.; HUMAR, M. **Wax treatment of wood slows photodegradation. Polymer degradation and stability**, v.96, n.7, p.1271-1278, 2011. Disponível em: (<[10.1016/j.polymdegradstab.2011.04.006](https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2011.04.006)>.)

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum, 1992. 352p.

LOSGDON, Norman Barros; CALIL JUNIOR, Carlito. **Influência da umidade nas propriedades de resistência e rigidez da madeira**. Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos, n. 18, p. 77-107, 2002.

MADIPLAC. **Madeiras naturais**. Disponível em: <<https://madiplac.pt/madeiras-naturais/>>. Acesso em: 11 de junho de 2019.

MASCARENHAS, Paulo Sérgio M. **Madeira como material de construção**. 2008.

MEIRELLES, Célia Regina Moretti, et al.,. **Considerações sobre o uso da madeira no Brasil em construções habitacionais.** 2007.

MENDES, A. S.& ALVES, M. V. S. (1988). **A degradação da madeira e sua preservação.**

Brasília, Ministério da Agricultura. 69p.

OLIVEIRA, J. T. S. Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro.** Vitória: Aquarius, p. 129-163, 2007.

PAES, J. B.; MELO, R. R.; LIMA, C. R. **Resistência natural de madeiras a fungos xilófagos em condições de laboratório.** Revista Ciência Agrária, Belém, n.47, p. 199-210, 2007.

PASTORE, T.C.M; OLIVEIRA, C.C.K.; RUBIM, J.C; SANTOS, K.O. **Efeito do intemperismo artificial em quatro madeiras tropicais monitorado por espectroscopia de infravermelho (DRIFT).** Química Nova, v.31, n.8, p.2071-2075, 2008.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michele. **Estruturas de Madeira.** Rio de Janeiro: Editora LTC, 2015 6a Edição.

PINTO, Cristiana Daniela Pires. **Caracterização das propriedades físicas e mecânicas da madeira de pinho bravo e de freixo do nordeste transmontano.** Instituto Politécnico de Bragança. Tese de Mestrado. 2014. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/25392068-Characterizacao-das-propriedades-fisicas-e-mecanicas-da-madeira-de-pinho-bravo-e-de-freixo-do-nordeste-transmontano.html>>. Acesso em 11 de junho de 2019.

PIXABAY- Nós. Disponível em: <<https://pixabay.com/pt/photos/madeira-n%C3%B3-tronco-textura-pinho-941114/>>. Acesso em 11 de junho de 2019.

POPE, J. M. **Near-infrared spectroscopy of wood products.** In: CONNERS, T. E.; BANERJEE, S. (Ed.). Surface analysis of paper. Boca Raton: CRC Press, 1995. p. 142-151.

PROMAP PRODUTOS DE MADEIRAS DO PARÁ LTDA – **SUCUPIRA.** Disponível

em:

(<<http://www.promapmadeiras.com.br/sucupira.htm>>. Acesso em 24 de março de 2019).

QIAN, Y.; ZHONG, X.; LI, Y.; QIU, X. **Fabrication of uniform lignin colloidal spheres for developing natural broad-spectrum sunscreens with high sun protection factor**. *Industrial Crops and Products*, v.101, p.54-60, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.03.001>.

REMADE – REVISTA DA MADEIRA. **Madeira preservada e seus conceitos**. *Revista da Madeira*. n. 103. 2007. Disponível em: . Acesso em 19 fev. 2019.

REZENDE, M. A.; SAGLIETTI, J. R. C.; MARTINEZ, J. C. **Estudo das variações da Massa Específica e Retratibilidade da Madeira do Eucalyptus grandis**. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7. Curitiba, 1993. Anais... Curitiba: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1993. p. 629-635.

RIZZINI, C.T. **Árvores e madeiras úteis do Brasil**. São Paulo: E. Blücher, 1971.

ROCCO LAHR, F.A. **Considerações a respeito da variabilidade das propriedades de resistência e de elasticidade da madeira**. 1990. 162p. Tese (LivreDocência). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1990. <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr86/cap03.pdf>

SALES, A. (2000). **Classes de Resistência para Madeira**. *Revista Madeira: arquitetura e engenharia*, v.1, n.1, p. 25-30.

SILVA MF, Lisboa PLB. **Nomes vulgares de plantas amazônicas**. Belém: INPA; 1977. 222 p.

SILVA, José de Castro; OLIVEIRA, José Tarcísio da Silva. **Avaliação das propriedades higroscópicas da madeira de Eucalyptus saligna Sm., em diferentes condições de umidade relativa do ar**. *Rev. Árvore* [online]. 2003, vol.27, n.2, pp. 233-239.

SILVA, V.G. **Avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros: diretrizes e base metodológica**. 2003.210f. Tese de doutorado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES FLORESTAIS. **Reserva Legal, tabelas e**

**gráficos.** Disponível em: <<http://snif.florestal.gov.br/pt-br/dados-complementares/259-reserva-legal-tabelas-e-graficos>>. Acesso em 10 de junho de 2019.

SOARES, F. W.; MELO, L. E. L.; LISBOA, P. L. B. **Anatomia do Lenho de Cinco Espécies Comercializadas como ‘sucupira’.** Revista Floresta e ambiente.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ- **Anatomia da madeira.** Disponível em:

<<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinassilvana/defeitos.pdf>>. Acesso em 11 de junho de 2019.

UMAÑA CLA, Alencar JC. **Comportamento fenológico da sucupira-preta (Diploptropis purourea (Rich.) Amsh. var. coriacea Amsh.), na reserva florestal Ducke.** Acta amazonica 1993; 23(1): 199-211.  
[http://www.scielo.br/pdf/floram/v21n1/aop\\_floram\\_051912.pdf](http://www.scielo.br/pdf/floram/v21n1/aop_floram_051912.pdf)

VOLVELLE, C.; MELLOOTTEE, H. **Modelisation de la pyrolyse oxydante ou noxydante de bois ou de déchets végétaux à partir de leurs composants.** In: PALZ, W.; CHARTIER, P. (Eds.). Energy from biomass. 2.ed. London: Applied Sciences, 1982. p.925-931.

VALE, A.T ; BRASIL, M. A. M. ; LEO, A. L. . **Caracterização da madeira e da casca de Sclerolobium paniculatum, Dalbergia miscolobium e Pterodon pubescens para uso energético.** In: Agrener 2000: 3 Encontro de Energia no Meio Rural, 2000, Campinas. Anais... Campinas : NIPE/CAMPINAS, 2000. v. 01. p. 18-19.

VALE, A. T.; MARTINS, I. S.; ARAÚJO, W. O. **Estudo da densidade básica de três espécies do cerrado.** Rev. Árvore, Viçosa, v. 16, n. 2, p. 209-217, 1992.

VARELA, Marcio. **Estruturas de Madeira.** Notas de aula, 2015. INSTITUTO FEDERAL DE GOIÁS. Disponível em: (<<https://docente.ifrn.edu.br/marciovarela/disciplinas/estruturas-metalica-e-madeira/estrutura-de-madeira/aula-2-tracao-atualizada-1>>). Acesso em: 23 de abril de 2019.