

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

CAMPUS DOIS VIZINHOS

COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Sérgio Luiz Corrêa Neto

**PROCEDIMENTOS PARA ENQUADRAMENTO EM CLASSE ESTRUTURAL DE  
RESISTÊNCIA DA MADEIRA DE *Pinus sp.***

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

Dois Vizinhos

2016

Sérgio Luiz Corrêa Neto

**PROCEDIMENTOS PARA ENQUADRAMENTO EM CLASSE ESTRUTURAL DE  
RESISTÊNCIA DA MADEIRA DE *Pinus sp.***

Trabalho de Conclusão de Curso I apresentado a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso Superior de Engenharia Florestal da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, como requisito parcial de obtenção de título de Engenheiro Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Aurélio Mathias de Souza.

Dois Vizinhos

2016



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Dois Vizinhos  
Curso de Engenharia Florestal



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

PROCEDIMENTOS PARA ENQUADRAMENTO EM CLASSE ESTRUTURAL DE  
RESISTÊNCIA DA MADEIRA DE *Pinus sp.*

por

SÉRGIO LUIZ CORRÊA NETO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 16 de Junho de 2016 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. Marcos Aurélio Mathias de Souza.  
Orientador

---

Prof. Dra. Flávia Alves Pereira  
Membro titular (UTFPR)

---

Prof. Msc. Ramiro Faria França  
Membro titular (UTFPR)

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

## Resumo

CORRÊA NETO, Sérgio. **Procedimentos para enquadramento em classe estrutural de resistência da madeira de *Pinus sp.*** 28f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2016.

O desenvolvimento de produtos que atendam as necessidades da sociedade através de matérias-primas eficientes e de baixo impacto ambiental é um desafio para todos os pesquisadores do país. A Madeira é uma proposta interessante e viável do uso para edificações, pois pode ser utilizada em diferentes tipos de estruturas, oferecendo alta qualidade, desempenho e ecologia. O presente trabalho teve como objetivo principal fazer a caracterização simplificada da madeira de *Pinus sp.*, através de ensaios de compressão paralela às fibras, para fins de enquadramento em classes estruturais, segundo as recomendações da norma NBR7190. Para o desenvolvimento do trabalho foram retiradas amostras aleatórias de um lote de madeira de 3,5 m<sup>3</sup>. Os corpos-de-prova foram divididos para os ensaios de umidade aparente, densidade básica e resistência à compressão paralela. Após o ensaio mecânico foi determinado o módulo de elasticidade (MOE) na direção paralela as fibras, com base nos dados obtidos no ensaio de resistência a compressão paralela às fibras. Foram encontrados os resultados para os ensaios de umidade aparente, densidade básica e resistência à compressão paralela, entretanto a variabilidade da amostra inviabilizou o enquadramento em classe estrutural e a determinação do módulo de elasticidade.

Palavras Chave: Madeira Estrutural, Compressão Paralela as Fibras, Edificações.

## ABSTRACT

CORRÊA NETO, Sergio. **Procedures framework for structural class wood resistance of *Pinus sp.*** 28p. Work Completion of Course (Undergraduate in Forestry) - Federal Technological University of Paraná. Dois Vizinhos, 2016.

The development of products that meet the needs of society through raw materials efficient and low environmental impact is a challenge for all researchers in the country. Madeira is an interesting and viable proposal of use for buildings, it can be used in different types of structures, offering high quality, performance and ecology. This study aimed to make a simplified characterization of *Pinus sp.*, Via parallel compression tests to the fibers, for framing purposes in structural classes, according to the recommendations of NBR7190 standard. For the development work random samples were taken from a batch of timber 3.5 m<sup>3</sup>. The bodies of the test piece were divided for the apparent moisture testing, basic density and resistance to compression parallel. After the mechanical test was determined by the modulus of elasticity (MOE) in the parallel direction of the fibers, based on data obtained in parallel compressive strength test fibers. the results for the apparent moisture test were found, basic density and resistance to compression parallel, however the variability of the sample in the frame prevented structural class and determination of modulus of elasticity.

Keywords: Structural wood, Parallel compression the fibers, Buildings.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	6
<b>2 OBJETIVO</b> .....	7
2.1 OBJETIVO GERAL.....	7
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	7
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	8
3.1 FLORESTAS PLANTADAS DE <i>Pinus sp.</i> .....	8
3.1.1 Características de <i>Pinus sp.</i> .....	9
3.2 NORMAS BRASILEIRAS PARA PROJETOS DE ESTRUTURA DE MADEIRA .....	11
3.2.1 Propriedades da Madeira .....	11
3.2.2 Densidade.....	12
3.2.3 Umidade .....	12
3.2.4 Caracterização da Simplificada da Resistência da Madeira Serrada.....	13
3.2.5 Determinação da Rigidez da Madeira .....	13
3.2.6 Classes estruturais de Resistência .....	14
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	15
4.1 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE APARENTE .....	16
4.2 MASSA ESPECÍFICA BÁSICA.....	17
4.3 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO PARALELA.....	18
4.4 DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE (MOE) .....	19
4.4 ENQUADRAMENTO DE CLASSE ESTRUTURAL DA MADEIRA .....	21
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	22
5.1 COEFICIENTES DE MODIFICAÇÃO (Kmod).....	22
5.3 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO PARALELA AS FIBRAS .....	24
5.4 DETERMINAÇÃO MÓDULO DE ELASTICIDADE (MOE) .....	26
5.5 ENQUADRAMENTO DE CLASSE ESTRUTURAL .....	27
<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	28
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	29

## 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de produtos que atendam as necessidades da sociedade através de matérias-primas de baixo impacto ambiental é um desafio para todos os pesquisadores do país. A madeira se mostra como forte alternativa para a construção de edificações sustentáveis, já que seu uso contribui diretamente para a minimização do uso de materiais construtivos de alto impacto, como por exemplo, o cimento, ferro e brita, além de contribuir diretamente para a fixação de carbono.

A organização socioespacial das cidades e o modelo atual de urbanismo são os principais responsáveis pelo impacto ambiental, consumindo de 15% a 50% da extração de recursos naturais. De acordo com JONH (2000), o Brasil consome 220 milhões de toneladas de agregados naturais somente para a fabricação de concreto e argamassas.

O uso da madeira na construção civil passou por um processo de modernização, e hoje, possui um mercado amplo e promissor. Diversos países, como por exemplo, Suíça, Estados Unidos, Canadá e Alemanha possuem inúmeras edificações de madeira. Recentemente a criação do sistema construtivo *Mass timber* revolucionou o uso da madeira para a construção de grandes edificações, como prédios e complexos multi-residenciais. Entretanto, países como o Brasil, que tiveram ao longo de sua história uma forte imponentia de materiais como o cimento e a intensificação de pesquisas a respeito de agregados, contribuíram para um enfraquecimento da madeira como um material de construção. A Madeira é uma proposta interessante e viável para edificações, pois permite o uso consciente dos recursos naturais e pode ser utilizada em diferentes tipos de estruturas, oferecendo alta qualidade e desempenho.

A caracterização e padronização da qualidade da madeira são fatores determinante para o uso desse material em finalidades estruturais. Isso ocorre devido à alta variabilidade das características da madeira, que ocorrem em um mesmo lote e podem influenciar em seu desempenho mecânico. A classificação garante a qualidade de produtos finais do processamento mecânico da madeira, e permite que o uso deste

material seja confiável e eficiente.

Neste contexto o trabalho tem como objetivo caracterizar a resistência de um lote de madeira serrada de *Pinus sp.* e posteriormente fazer o enquadramento em classe estrutural, segundo os critérios recomendados pela NBR-7190:1997.

## 2 OBJETIVO

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Caracterizar a resistência de um lote de madeira serrada de *Pinus sp.* e posteriormente fazer o enquadramento em classe estrutural, segundo os critérios recomendados pela NBR7190 (ABNT, 1997).

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Determinar a resistência à compressão paralela às fibras da madeira de *Pinus taeda* L.
- 2) Determinar a umidade aparente do lote de *Pinus taeda* L.
- 3) Determinar o MOE das lâminas na direção paralela às fibras através do método proposto pela NBR7190:1997.
- 4) Determinar a Massa Específica Básica da madeira de *Pinus taeda* L. de acordo com NBR7190:1997
- 5) Avaliar a distribuição normal dos valores de MOE e resistência à compressão paralela as fibras ( $f_{c0}$ ).
- 6) Enquadrar o lote de 3,5 m<sup>3</sup> de *Pinus taeda* L. em classe de resistência estrutural segundo a NBR7190:1997.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 FLORESTAS PLANTADAS DE *Pinus sp.*

A criação da lei 5.106 na data de 02 de setembro de 1966 tinha como objetivo incentivar e subsidiar, através do abatimento de impostos de renda, produtores que comprovassem a aplicação de programas florestais junto ao Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF), foi um fator determinante para o desenvolvimento e o aumento das florestas plantadas no país (VEIGA et al, 1975). Ainda de acordo com o mesmo autor, os dados fornecidos pelo IBDF apontaram que desde a entrada da lei em vigor até o ano de 1972 foram aprovados cerca de 5.200 projetos que representaram um reflorestamento de mais de 8.231 km<sup>2</sup>.

De acordo com Prata (2006) os plantios mais extensos foram implantados nas regiões Sul e Sudeste, com as espécies *P. taeda* e *P. elliottii*. Isto ocorreu pela boa adaptação das espécies as características de clima e solo dessas regiões.

Segundo o IBÁ (2015) os plantios de *Pinus* no Brasil abrangem atualmente uma área de 1,59 milhões de hectares, sendo que as maiores áreas se concentram no Paraná que detém 42,4% e Santa Catarina com 34,1% da área total. A grande disponibilidade da madeira de *Pinus* na região sul, torna viável o estudo de novas tecnologias e produtos de base florestal que possam ser desenvolvidos para este gênero.

Prata (2010) destaca que dentre as espécies florestais plantadas comercialmente no Sul e Sudeste dos Estados Unidos o *Pinus taeda* é a mais importante. O mesmo autor relata que no Brasil entre as espécies do gênero *Pinus* o *Pinus taeda* é a mais plantada, onde as maiores áreas de plantio se concentram nos planaltos da região sul e também nas regiões mais chuvosas do estado de São Paulo e Minas Gerais.

Ferreira (2005) afirma que a espécie *P. taeda* é uma das espécies do gênero com maior desenvolvimento de plantio em várias regiões de atividade florestal. O mesmo autor afirma que programas de melhoramento genético aplicado por diferentes empresas florestais desde a década de 60 contribuíram para o avanço da produtividade

florestal do *P. taeda*. Algumas empresas obtiveram valores de Incremento Médio Anual (IMA) de mais de 40 m<sup>3</sup>/ha/ano de madeira verde com casca aos 18 anos de idade de plantio. Este valor é considerado mundialmente como uma das maiores produtividades constatadas para o gênero *Pinus* em plantios comerciais (FERREIRA, 2005).

Barrichelo et al (1977) concluíram que as diferentes procedências de sementes para a implantação de plantios de *Pinus taeda* nos estados do Paraná e Santa Catarina contribuíram para uma alta variabilidade das características destes plantios.

De acordo Kronka et al., (2005) um dos motivos mais importantes para a introdução do *Pinus* no Brasil foi o aumento da demanda de madeira para o abastecimento industrial, para a produção de celulose e papel, produção de madeira serrada, produção de madeira laminada e outros produtos madeireiros mecanicamente processados.

### 3.1.1 Características de *Pinus sp.*

As madeiras do gênero *Pinus* apresentam diversas características que favorecem e possibilitam seu uso para a produção de vigas estruturais de madeira laminada colada em escala comercial no Paraná, primeiramente por este estado possuir a maior área de plantio *Pinus* do país. Atualmente no setor madeireiro a tecnologia aplicada pelas empresas para industrialização de *Pinus* é muito maior e mais difundida que a tecnologia disponível para a industrialização de madeiras nativas (CUNHA, 2007).

Além das características tecnológicas especiais do processo e comerciais, as propriedades da madeira de *P. taeda* apresentam aspectos favoráveis para processamento mecânico. Segundo Xavier et al. (2008) a massa específica da madeira de *Pinus taeda* pode variar entre 0,351 g/cm<sup>3</sup> a 0,390 g/cm<sup>3</sup>

De acordo com Cunha (2007) devido à baixa densidade, a madeira de *Pinus taeda* apresenta uma boa trabalhabilidade e um fácil manuseio das peças, possibilitando o uso de equipamentos mais leves e um desgaste menor destes ao longo do processo, sua alta permeabilidade facilita o processo de tratamento preservativo

umentando também a eficiência do tratamento. Isso permite que o preservante impregue por toda a madeira evitando pontos de susceptibilidade ao longo do material. Além disso, a alta permeabilidade possibilita uma boa eficiência nos processamentos com uso de adesivo, garantindo a permeabilidade necessária para uma linha de cola com boa resistência mecânica.

O processo de secagem da madeira também é facilitado e acelerado pela alta porosidade do pinus, que é um fator essencial para o processo de industrialização, tendo em vista que o custo de espera de secagem e o capital imobilizado para grandes estoques poderia inviabilizar o processo (CUNHA, 2007).

Quanto à estabilidade dimensional o USDA (1985) afirma que a madeira de *P. taeda* apresenta contração moderada, sendo a tangencial de aproximadamente 5,90% a 6,20% e a radial de 3,50% a 4,40%, porém quando o processo de secagem é bem conduzido, apresenta uma boa estabilidade. De acordo com Trianoski (2010) os teores de extrativos totais presentes no *P. taeda* são de 7,37%, teor de lignina de 29,34%, teor de holocelulose de 63,03 e materiais inorgânicos de 0,30%.

Apesar das diversas características favoráveis deve se levar em conta que a madeira de *Pinus* possui peculiaridades que devem ser analisadas e conduzidas corretamente para se obter um produto final com a qualidade desejada.

Quanto às propriedades mecânicas Oliveira *et al.* (2006) obtiveram como resultado de resistência à flexão estática para plantios *P. taeda* com idades de 9, 13 e 20 anos, valores entre 53,14 MPa a 79,97 MPa. Ballarin; Lara Palma (2003) através do ensaio de flexão estática de madeira de *P. taeda* obtida com idade de 37 anos encontraram valores para módulo de ruptura de 107,02 MPa e módulo de elasticidade de 13,812 MPa.

Devido a um baixo MOE (Módulo de Elasticidade) da madeira de pinus e a ocorrência de defeitos naturais de crescimento, deve-se preferencialmente obter o controle da madeira desde a floresta até o produto final. Isso garante uma condução correta do crescimento das árvores e posteriormente uma matéria prima de alta confiabilidade para o processamento a qual será submetida. Outro aspecto importante

para a madeira de pinus é o tratamento preservativo condizente com a classe de uso que a madeira será submetida, pois esta espécie apresenta uma alta susceptibilidade a organismos deterioradores da madeira.

Em vista aos aspectos apresentados é evidente que é de extrema importância o direcionamento adequado para obtenção de madeira de pinus em qualidades condizentes as necessidades do processo de industrialização a qual a madeira será submetida.

### 3.2 NORMAS BRASILEIRAS PARA PROJETOS DE ESTRUTURA DE MADEIRA

Oliveira et al. (2005) afirmam que um grande gargalo do mercado madeira serrada brasileiro é a falta de disponibilidade de produtos padronizados que atendam as normas específicas que regulamentam o setor, garantindo a confiabilidade e qualidade para o consumidor. Na busca da resolução deste problema produtores, especialistas, universidades, consumidores e laboratórios, buscam através de pesquisas a padronização do controle de qualidade para a produção e uso da madeira serrada em estruturas. (ABNT, 1997).

A Norma Brasileira Regulamentadora vigente para projetos em estruturas de madeiras é a “7190” que foi elaborada pela Comissão Brasileira de Estrutura de Madeira, e passou a ser válida a partir de 29/09/1997. “Esta Norma fixa as condições gerais que devem ser seguidas no projeto, na execução e no controle das estruturas correntes de madeira.” (ABNT, 1997).

#### 3.2.1 Propriedades da Madeira

Segundo a ABNT (1997), as propriedades da madeira a serem consideradas em projetos de estruturas são: Densidade, Resistência, Rigidez e Umidade. Para a determinação destas propriedades devem ser seguidos os procedimentos descritos na norma, o autor enfatiza que deve se distinguir os valores de compressão e tração, e também os valores correspondente à direção paralela e normal as fibras devido à anisotropia dimensional, característica que torna o uso da madeira mais complexo para os desenvolvimento de projeto de estruturas.

### 3.2.2 Densidade

Segundo determina a ABNT (1997), para a determinação da densidade de lotes homogêneos de madeira utiliza-se a “densidade básica”, que é obtida pelo quociente da massa seca pelo volume saturado.

Para a determinação da massa seca devem-se inserir os corpos-de-prova em estufa a 103°C +/- 2 até que a massa dos corpos-de-prova de tornem constante. A saturação dos corpos-de-prova se dá pela imersão destes em água até que suas massas se tornem constantes.

### 3.2.3 Umidade

A ABNT (1997) definiu quatro diferentes classes de umidade para o uso da madeira em projetos de estruturas. “As classes de umidade têm por finalidade ajustar as propriedades de resistência e de rigidez da madeira em função das condições ambientais onde permanecerão as estruturas.” (ABNT, 1997). O mesmo autor ressalta que a classe de umidade deve ser levada em consideração também para a escolha do tratamento preservativo que deverá ser utilizado para o ambiente em que a estrutura será inserida.

A seguir, o Quadro 1 apresenta as classes de umidade determinada pela ABNT (1997):

Classes de umidade	Umidade relativa do ambiente $U_{amb}$	Umidade de equilíbrio da madeira $U_{eq}$
1	$U_{amb} \leq 65\%$	12 %
2	$65\% < U_{amb} \leq 75\%$	15 %
3	$75\% < U_{amb} \leq 85\%$	18 %
4	$U_{amb} > 85\%$ durante longos períodos	$\geq 25\%$

**Quadro - 1: Classes de umidade da madeira**

**Fonte: NBR7190 (ABNT, 1997)**

### 3.2.4 Caracterização da Simplificada da Resistência da Madeira Serrada

Segundo a ABNT (1997), a caracterização simplificada da resistência da madeira tem como objetivo fazer a investigação direta da resistência de lotes homogêneos de madeira com volume máximo de 12 m<sup>3</sup>. “Deve-se extrair uma amostra composta por pelo menos seis exemplares, retirados de modo distribuído do lote, que serão ensaiados à compressão paralela às fibras.” (ABNT, 1997).

De acordo com a ABNT (1997), “a resistência à compressão paralela as fibras ( $f_{c0}$ ) é dada pela máxima tensão de compressão que pode atuar em um corpo-de-prova de seção transversal quadrada de 5,0 cm de lado e 15,0 cm de comprimento”.

Segundo a ABNT (1997), o valor da resistência é obtido através da seguinte equação:

$$f_{c0} = F_{c0max}/A \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

$f_{c0}$ : é a resistência à compressão paralela às fibras em megapascal.

$F_{c0max}$ : é a máxima força de compressão aplicada ao corpo-de-prova durante o ensaio, em newtons;

$A$ : é a área inicial da seção transversal comprimida em metros quadrados;

Para situações onde os lotes sejam compostos por peças delgadas, permite-se utilizar “corpos-de-prova com seção transversal quadrada, com lado igual à espessura do elemento delgado, com pelo menos 1,8 cm e comprimento igual a três vezes o lado da seção transversal.” (ABNT, 1997). Devem-se ensaiar pelo menos 12 corpos-de-prova, retirados aleatoriamente de 12 diferentes peças. (ABNT, 1997).

### 3.2.5 Determinação da Rigidez da Madeira

De acordo com a ABNT (1997), “A rigidez dos materiais é medida pelo valor médio do módulo de elasticidade, determinado na fase de comportamento elástico-linear.”.

Segundo a ABNT (1997), o módulo de elasticidade na direção paralela as fibras deve ser determinado através da reta secante à curva do diagrama tensão x deformação específica, expressando o resultado em megapascals. Devem-se encontrar os pontos referentes a 10% e 50% da tensão e da deformação específica.

### 3.2.6 Classes estruturais de Resistência

De acordo com a ABNT (1997), “as classes de resistência das madeiras tem por objetivo o emprego de madeiras com propriedades padronizadas, orientando a escolha do material para elaboração de projetos estruturais.” As classes estruturais são divididas de acordo com o gênero, coníferas e dicotiledôneas. As classes de coníferas são: C20, C25 e C30. (ABNT, 1997). O quadro a seguir apresenta as especificidades de cada classe:

Coníferas (Valores na condição-padrão de referência U = 12 %)				
Classes	$f_{c0k}$ MPa	$f_{v0,k}$ MPa	$E_{c0,m}$ MPa	$\rho_{aparente}$ kg/m <sup>3</sup>
C20	20	4	3500	500
C25	25	5	8500	550
C30	30	6	14500	600

**Quadro - 2: Classes de Resistência Coníferas**

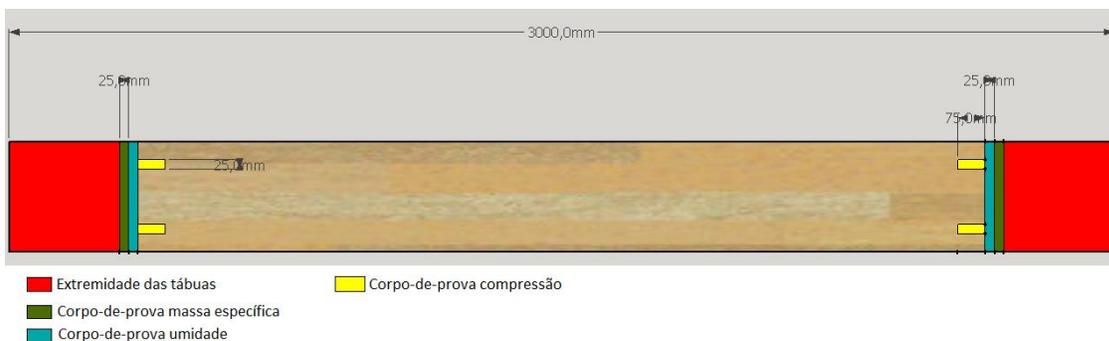
**Fonte: NBR7190 (ABNT, 1997)**

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Tecnologia da Madeira da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Dois Vizinhos. A madeira utilizada foi obtida por meio da doação de um lote 3,5 m<sup>3</sup> de *Pinus taeda* L. feito por uma empresa madeireira localizada na cidade de Dois Vizinhos-PR. Segundo a empresa, a madeira do lote disponibilizado é originária de florestas plantadas na cidade de São Jorge d'Oeste - PR.

Foram retiradas 13 tábuas, que foram numeradas de 1 a 13, de dimensões: 3 x 0,3 x 0,025 m. As tábuas foram serradas ao meio para facilitar a confecção dos corpos-de-prova e o manuseio no laboratório. As tábuas divididas foram identificadas como "nA" e "nB", sendo "n" correspondente ao número da tábua no intervalo de 1 a 13.

Para a determinação da umidade aparente e da densidade básica foram retirados 4 corpos-de-prova de cada tábua, com dimensões de 0,3 x 0,025 x 0,025 m, afastados 30 cm das extremidades das tábuas, totalizando 104 corpos-de-prova, dos quais 52 foram utilizados para a determinação da umidade aparente e 52 para a determinação da densidade básica. Todos os corpos-de-prova foram enumerados e identificados para o controle dos testes, os corpos-de-prova utilizados para a determinação da umidade aparente foram identificados com a letra "U" e os corpos-de-prova utilizados para densidade básica com a letra "D", como mostra a Figura 1.



**Figura - 1: Esquema de corpos-de-prova**

Fonte: Autor (2016)

#### 4.1 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE APARENTE

Para a determinação da umidade aparente média da amostra primeiramente foram feitas as pesagens das amostras recebidas. Em seguida, estes foram armazenados em estufa a 103°C +/- 2, até que a massa se tornasse constante. O cálculo do teor de umidade ( $TU\%$ ) foi feito através da equação:

$$TU\% = ((P_u - P_s)/P_s) * 100 \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

$TU\%$ : Teor de umidade;

$P_u$ : peso úmido em gramas;

$P_s$ : peso seco em gramas.

- Cálculo do teor de umidade médio  $\Sigma TU(\%)$  através a equação:

$$TUm\% = (\Sigma TU\%)/n \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

$TUm\%$ : Teor de umidade médio;

$\Sigma TU\%$ : somatório dos teores de umidade;

$n$ : número de corpos-de-prova.

De acordo com a NBR7190 (ABNT, 1997), o coeficiente parcial de modificação  $K_{mod2}$ , é o coeficiente responsável por modificar os valores de cálculo estrutural para madeira, e é determinado de acordo com sua classe de umidade e tipo de madeira utilizada, como apresentado no quadro a seguir:

Classes de umidade	Madeira serrada	Madeira recomposta
	Madeira roliça Madeira laminada colada Madeira compensada	
(1)	1,00	1,00
(2)	0,90	0,95
(3)	0,80	0,93
(4)	0,70	0,90

**Quadro 3: Valores de  $K_{mod_2}$  em relação à classe de umidade e tipo de madeira**

Fonte: NBR7190 (ABNT, 1997)

#### 4.2 MASSA ESPECÍFICA BÁSICA

A determinação da massa específica básica seguiu a metodologia recomendada pela NBR7190 (ABNT, 1997). Para a determinação o procedimento foi dividido em três etapas.

Na primeira etapa os corpos-de-prova foram inseridos em um reservatório de plástico, e posteriormente completado com água até que todos estivessem submersos. Foram feitas pesagens a cada 3 dias até que as massas dos corpos-de-prova se tornassem constantes, ou seja, ocorresse a saturação. Após a saturação foram tabulados os pesos (g) dos corpos-de-prova saturados.

Na segunda etapa os corpos-de-prova foram armazenados em estufa a temperatura de 103°C +/- 2. Foram feitas pesagens diárias até que a massa se tornasse constante. Após a massa se tornar constante foram tabulados os pesos (g) dos corpos-de-prova secos.

O valor da massa específica básica ( $\rho_{bas}$ ) foi obtido através da equação:

$$\rho_{bas} = M_s/V_s \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

$\rho_{bas}$ : Massa específica básica em g/cm<sup>3</sup>;

$M_s$ : Massa seca em gramas;

$V_v$ : Volume saturado em cm<sup>3</sup>.

#### 4.3 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO PARALELA

A determinação da resistência à compressão paralela fibras ( $f_{c0}$ ) foi determinada por meio de ensaios mecânicos, realizados na máquina universal para ensaios mecânicos, modelo EMIC 23-300, o software utilizado para a leitura e compilação de dados foi o Tesc versão 3.04.

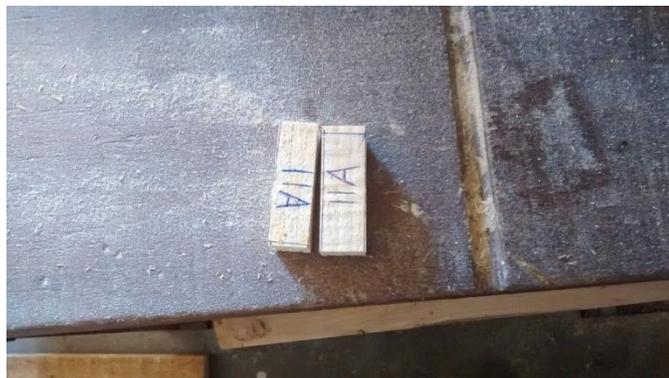
Foram utilizados 32 corpos-de-prova de dimensões de 0,025 x 0,025 x 0,075 m. Após a confecção dos corpos-de-prova, os mesmos foram colocados em sala climatizada para que sua umidade de equilíbrio alcançasse o teor de 12%, entretanto, devido aos prazos previstos em cronograma, no momento dos testes os corpos-de-prova se encontravam com teor de umidade médio de 16,5%. Posteriormente, para a apresentação dos resultados, os valores de resistência foram recalculados para a condição de referência ao teor de umidade de 12%, e por fim, foi feito o cálculo do valor característico da resistência ( $k$ ) do lote de acordo com a NBR7190 (ABNT, 1997).

A metodologia de ensaio adotada foi a recomendada pela NBR7190 (ABNT, 1997), porém não foi possível a utilização dos relógios comparadores, pois o laboratório não possuía e também pela pequena dimensão do corpo-de-prova. Para a leitura da deformação optou-se por utilizar aquela lida pelo software Tesc versão 3.04



**Figura - 2: Ensaio de resistência à compressão paralela as fibras**

Fonte: Autor. (2016)



**Figura - 3: Corpos-de-prova para ensaio de resistência à compressão paralela as fibras**

Fonte: Autor. (2016)

#### 4.4 DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE (MOE)

Para a determinação do módulo de elasticidade na direção paralela as fibras foi adotada a metodologia proposta pela NBR7190 (ABNT, 1997). Para o cálculo foram tabulados os dados correspondentes à deformação x força extraídos do relatório dos

testes de resistência à compressão paralela as fibras através do software Tesc versão 3.04. Após a tabulação dos dados foram determinadas as forças e as deformações nos pontos de 10% e 50% da força máxima. Para o cálculo das tensões utilizou-se a seguinte equação:

$$\sigma_{x\%} = F_{x\%F_{max}} / A \quad \text{Equação (5)}$$

Onde:

$\sigma_{x\%}$ : Tensão à x% da força máxima em (N/mm<sup>2</sup>);

$F_{x\%F_{max}}$ : Porcentagem da força máxima;

A: Área da seção transversal do corpo-de-prova em mm<sup>2</sup>.

A deformação específica foi determinada pela seguinte equação:

$$\varepsilon = \Delta L / L \quad \text{Equação (6)}$$

Onde:

$\varepsilon$ : deformação específica;

$\Delta L$ : deformação total;

L: comprimento inicial do corpo-de-prova.

Para o Cálculo do MOE de cada corpo-de-prova utilizou-se a equação recomendada pela NBR7190 (ABNT, 1997) apresentada a seguir:

$$E = \sigma_{50\%} - \sigma_{10\%} / \varepsilon_{50\%} - \varepsilon_{10\%} \quad \text{Equação (7)}$$

Onde:

E: módulo de elasticidade (MOE) em megapascal;

$\sigma_{50\%}$  e  $\sigma_{10\%}$ : são as tensões correspondentes a 50% e 10% da força máxima em N/mm<sup>2</sup>;

$\varepsilon_{50\%}$  e  $\varepsilon_{10\%}$ : são as deformações específicas correspondentes a 50% e 10% da força máxima.

Após o cálculo do MOE, foi calculado o  $MOE_{12\%}$  de acordo com a equação de condição de referência recomendada pela NBR7190 (ABNT, 1997). Por fim, foram calculadas a média, desvio padrão e coeficiente de variação através do software Excel 2013.

#### 4.4 ENQUADRAMENTO DE CLASSE ESTRUTURAL DA MADEIRA

O enquadramento em classe estrutural foi feito, após a determinação dos parâmetros necessários, são eles:

- Resistência à compressão paralela as fibras ( $f_{c0k}$ ), obtido através de ensaios destrutivos.
- Resistência ao cisalhamento ( $f_{v0k}$ ), obtido pela relação proposta pela NBR7190 (ABNT, 1997) para coníferas onde:  $f_{v0k}/f_{c0k}=0,15$ .
- Modulo de Elasticidade (MOE) obtido na direção paralela as fibras
- Massa específica Básica ( $\rho_{bas}$ )
- A determinação da classe estrutural foi realizada em conformidade com a NBR7190 (ABNT, 1997).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 COEFICIENTES DE MODIFICAÇÃO (Kmod)

Para a determinação foi utilizado a NBR7190 (ABNT, 1997) que apresenta coeficientes de modificação como medidas que afetam os valores de cálculo das propriedades da madeira em função da classe de carregamento de estrutura (Kmod1), da classe de umidade (Kmod2) e qualidade da madeira (Kmod3). O coeficiente de modificação (Kmod) é determinado pela equação:

$$Kmod = Kmod1 . Kmod2 . Kmod3 \quad \text{EQUAÇÃO (8)}$$

O coeficiente parcial de modificação Kmod1 para madeira serrada varia de 0,6 para carregamento permanente a 1,1 para carregamento instantâneo, porém a classe de carregamento para este material não foi determinada.

A amostra estudada apresentou um teor de umidade médio de 17,7% (base seca). O teor de umidade encontrado classifica o lote amostrado, segundo a NBR7190 (ABNT, 1997), como madeira de classe de umidade 3, que corresponde a ambientes com umidade relativa do ar de 75% a 85% e umidade de equilíbrio de 18%. Como apresentado na Tabela 1.

<b>Tabela 1 - Teor de Umidade</b>	
<b>Tábua</b>	<b>Umidade (%)</b>
1	17,38
2	17,73
3	17,00
4	16,82
5	17,90
6	17,92
7	17,56
8	18,26
9	17,63
10	16,77
11	18,28
12	19,05
13	17,91
<b>Média</b>	<b>17,71</b>
<b>Coefficiente de Variação(%)</b>	<b>3,59</b>

Fonte: Autor (2016).

Esta classificação servirá como referência para os cálculos estruturais que serão necessários para projetos que utilizarão as madeiras do lote amostrado, conforme o local de aplicação. Segundo ABNT (1997) as classes de umidade ajustam as propriedades de resistência do material em função das condições ambientais onde permanecerão as estruturas.

Para determinação do coeficiente de modificação que leva em consideração a qualidade do material ( $K_{mod3}$ ) foi empregado um valor de 0,6. Segundo a norma, valor este indicado para madeira de conífera não classificada. A classificação é realizada através de inspeção visual normalizada e classificação mecânica, o que não foi realizado no presente trabalho.

## 5.2 MASSA ESPECÍFICA BÁSICA

A massa específica básica média da amostra foi de  $0,440 \text{ g/cm}^3$ , valor máximo de  $0,487 \text{ g/cm}^3$  e mínimo de  $0,382 \text{ g/cm}^3$  com coeficiente de variação de 7,24%. Como apresentado na Tabela 2.

<b>Tabela 2 - Massa Específica Básica</b>	
<b>Tábua</b>	<b>ME (<math>\text{g/cm}^3</math>)</b>
1	0,425
2	0,457
3	0,436
4	0,487
5	0,484
6	0,444
7	0,388
8	0,418
9	0,382
10	0,435
11	0,444
12	0,448
13	0,468
<b>Média</b>	<b>0,440</b>
<b>Coef. de Variação(%)</b>	<b>7,24</b>

Fonte: Autor (2016).

Ballarin e Lara Palma (2003), estudando as propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. com idade de 37 anos, encontraram valores médios de massa específica básica de  $0,674 \text{ g/cm}^3$  para madeira adulta,  $0,536 \text{ g/cm}^3$  para madeira juvenil e  $0,604 \text{ g/cm}^3$  para a espécie. Barrichelo et al (1977), em um estudo de 19 procedências de *Pinus taeda* L. aos 9 anos de idade, obteve como valor

máximo para massa específica básica entre as procedências 0,404 g/cm<sup>3</sup> e como menor valor 0,354 g/cm<sup>3</sup>, a média geral da massa específica básica de todas as procedências de 0,375 g/cm<sup>3</sup>. Através desses resultados é possível observar que a massa específica do lote encontrada neste estudo se assemelha a valores encontrados na literatura, pode se observar também que a variação da massa específica em relação à idade da madeira de *Pinus taeda* L. é significativa, sendo preferencial o uso de madeira adulta para construção de estruturas com a utilização desta espécie.

A NBR7190 (ABNT, 1997), determina três valores de massa específica que são referência para o enquadramento da madeira de coníferas em classe estrutural. Cada valor corresponde a uma classe estrutural. Os valores mínimos para cada classe e a respectiva classe estrutural correspondentes são apresentados na tabela a seguir:

<b>Classe estrutural</b>	<b>Massa Específica (kg/m<sup>3</sup>)</b>
C20	400
C25	450
C30	500

**Fonte: NBR7190 (ABNT, 1997), modificado pelo autor.**

Pode se observar que segundo o classificação estrutural para madeira de coníferas proposta pela NBR7190 (ABNT, 1997), a madeira estudada no presente trabalho, em relação a sua densidade, é enquadrada como madeira de conífera de classe estrutural "C20".

### 5.3 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO PARALELA AS FIBRAS

Os resultados obtidos através dos ensaios de compressão paralela as fibras foram satisfatórios quando comparado aos valores encontrados na literatura. O valor médio de resistência à compressão paralela as fibras do lote estudado foi de 35,68 MPa. Como apresentado na Tabela 4.

<b>Tabela 4 - Resistência a Compressão Paralela (MPa)</b>		
<b>Tábua</b>	<b>U = 16,61%</b>	<b>U = 12%</b>
1	22,55	25.59
2	34,075	38.68
3	43,28	49.12
4	22,875	25.96
5	28,675	32.55
6	33,395	37.90
7	27,62	31.35
8	22,01	24.98
9	20,805	23.61
10	28,08	31.87
11	35,775	40.60
12	39,75	45.12
13	49,795	56.52
<b>Média</b>	<b>31,44</b>	<b>35.68</b>
<b>Coeficiente de Variação(%)</b>	<b>28,51</b>	<b>28.51</b>

Fonte: Autor (2016).

Oliveira *et al.* (2006), ao estudar as propriedades da madeira de *Pinus taeda* L. em função da idade e da posição radial, obtiveram valores médios de resistência à compressão paralela as fibras de 24,11 MPa para a madeira aos 9 anos, 29,64 MPa para madeira aos 13 anos e 36,03 MPa para a madeira aos 20 anos de idade. Segundo a NBR7190 (ABNT, 1997), a resistência à compressão paralela as fibras para a madeira de *Pinus taeda* L. é de 44,4 MPa.

O valor máximo obtido nos ensaios foi de 56,52 MPa e o valor mínimo 23,61 MPa. O coeficiente de variação de 28,51 %. Este valor para o coeficiente de variação não atende o limite da NBR7190 (ABNT, 1997) que é de no máximo 28%, portanto os resultados obtidos não podem ser utilizados para enquadramento do lote amostrado em classe estrutural. A variabilidade da amostra estudada pode estar relacionada a fatores internos, como a posição em que a tábua foi retirada da tora, bem como a proporção de lenho inicial e tardio, mas também pode se atribuir a variabilidade a fatores externos, relacionados à gestão do processamento da toras, como a mistura de madeira de toras de diferentes idades e tamanhos no mesmo lote.

#### 5.4 DETERMINAÇÃO MÓDULO DE ELASTICIDADE (MOE)

Os valores de MOE obtidos neste estudo tiveram valor médio de 2.235,86 MPa, atingindo o valor máximo de 4.161,33 MPa e mínimo de 1.378,67 MPa. O problema ocorrido no teste foi atribuído à falta dos relógios comparadores na execução dos ensaios para a coleta da deformação do corpo-de-prova nos pontos de 10% e 50% da força máxima. A leitura da deformação diretamente pelo software Tesc versão 3.04 não desempenhou a precisão necessária, fator este que comprometeu o cálculo do MOE, tendo como resultados valores discrepantes aos valores encontrados para a espécie na revisão de literatura. Como apresenta a Tabela 4.

<b>Tabela 5 - Módulo de Elasticidade (MPa)</b>		
<b>Tábua</b>	<b>U=16,6%</b>	<b>U=12%</b>
1	1.443,53	1,634.08
2	1.973,69	2,234.22
3	2.712,89	3,070.99
4	1.496,80	1,694.37
5	1.857,43	2,102.61
6	1.994,29	2,257.54
7	1.670,65	1,891.18
8	1.414,80	1,601.56
9	1.217,91	1,378.67
10	1.624,55	1,838.99
11	2.077,74	2,352.00
12	2.516,48	2,848.65
13	3.676,08	4,161.33
<b>Média</b>	<b>1.975,14</b>	<b>2,235.86</b>
<b>Coefficiente de Variação(%)</b>	<b>33,87</b>	<b>33.87</b>

Fonte: Autor (2016).

Ballarin e Lara Palma (2003), estudando as propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. com idade de 37 anos, encontraram valores médios de MOE de 16.730 MPa para madeira adulta, 10.894 MPa para madeira juvenil e 13.812 MPa para a espécie. NBR7190 (ABNT, 1997) através de ensaios de compressão paralela as fibras de uma amostra de *Pinus taeda* L. obtiveram o valor médio de MOE de 13.304 MPa.

Após a investigação completa dos possíveis erros de ensaio e de compilação de dados, evidenciou-se que o fator que causou o erro foram as leituras da deformação dos corpos-de-prova.

## 5.5 ENQUADRAMENTO DE CLASSE ESTRUTURAL

Devido aos resultados dos ensaios de resistência a compressão paralela superarem o coeficiente de variação limite estipulado pela NBR7190 (ABNT, 1997), e pelos baixos valores de MOE encontrados, devido à falta dos relógios comparadores durante o ensaio, a madeira utilizada nesse estudo não pode ser enquadrada em classe estrutural segundo a NBR7190 (ABNT, 1997).

## 6 CONCLUSÕES

As principais conclusões desse trabalho são:

- Foi possível a realização dos ensaios de resistência à compressão paralela, porém não foi possível seguir na íntegra a metodologia estipulada pela NBR7190 (ABNT, 1997) devido ao laboratório não possuir os relógios comparadores ou extensômetros. Entretanto conclui-se que os resultados para os valores de resistência a compressão foram satisfatórios quando comparados aos referenciais teóricos, porém não foram conclusivos para enquadramento de classe estrutural devido a grande variabilidade da amostra.
- Foi possível determina o MOE de acordo à metodologia recomendada pela NBR7190 (ABNT, 1997), entretanto, devido à falta dos relógios comparadores, não foi possível a leitura precisa da deformação do corpo-de-prova. Devido a este fator não se pode concluir se os valores do MOE para o lote estudado estão completamente corretos. Conclui-se que é necessária a utilização de relógios ou extensômetros para a leitura da deformação em ensaios de compressão paralela as fibras.
- A alta variabilidade das madeiras em um lote impede que seja feito a caracterização das propriedades por meio de amostragem.

Por fim, conclui-se que a caracterização das propriedades da madeira é essencial para a aprovação de lotes para utilização em finalidades estruturais, pois para o desenvolvimento de projetos estruturais é necessária à padronização do material, garantindo que o desempenho real da estrutura seja compatível com o desempenho estimado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). **Anuário estatístico da ABRAF 2010: ano base 2009**. Brasília, 2010. 136 p.

BARRICHELO, L. E. G., KAGEYAMA, P. Y., SPELTZ, R. M. BONISH, H. J.; BRITO, J. O.; FERREIRA, M. **Estudos de Procedências de Pinus taeda Visando seu Aproveitamento Industrial**. – IPEF, n15, P.1-14, Piracicaba, 1977.

BALLARIN, A.W.; LARA PALMA, H.A. **Propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de Pinus taeda L.** *Árvore*, v.27, n.3, p.371 - 380, 2003.

Cunha A.B.; **Produção de vigas estruturais de madeira avaliadas por meio de ensaios estáticos e dinâmicos [tese]**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná; 2007.

IBÁ. **Indicadores de desempenho do setor nacional de árvores plantadas referentes ao ano de 2014**.Brasília, 2015.

JOHN, V. M., 2000. **Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 113p. Tese (Livre Docência)- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo.

KRONKA, F. J. N. et al. **A Cultura do Pinus no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2005.

OLIVEIRA, F. L.; LIMA J. N., GARCIA, J. N., FLORSHEIM, S. M. B. **Propriedades da madeira de Pinus taeda I. em função da idade e da posição radial na tora**. *Revista do Instituto Florestal*, v. 18, p. 59-70, 2006.

PRATA, J. G. **Desempenho de um Sistema de Qualidade em uma Fábrica de Painéis Compensados**. 101 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

PRATA, J.G. **Estudo da viabilidade tecnológica do uso de espécies de Pinus tropicais para produção de painéis colados lateralmente (Edge Glued Panels – EGP)** 114 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

SAMARTINI, B. Q. A. **Oficina de Bioconstrução: Interdisciplinariedade, trabalho coletivo e educação ambiental**. Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil, 23 a 28 de Setembro de 2007, Caxambu - MG.

TRIANOSKI, R. **Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada** 262 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

TRIANOSKI, R. **Avaliação da qualidade da madeira de espécies de pinus tropicais por meio de métodos convencionais e não destrutivos**. 2012. 553 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

USDA, **The Southern Pines: An American Wood United States**. Department of Agriculture FS-256 11p. 1985.

VEIGA, R.A.A., OLIVEIRA NETO, O.J., JORGE, W.J.; SOUZA, F.G.A.; CARVALHO, C.M. **Aspectos Sócio-Econômicos do Desenvolvimento Florestal Brasileiro Através de Incentivos Fiscais** – Revista floresta, v6., n.1, Curitiba, 1975.

XAVIER, J. A.; MATOS, J. L. M.; TRIANOSKI, R. **Variabilidade da massa específica básica de Pinus taeda L. em diferentes idades de plantio** In: I SIMADERJ - SIMPÓSIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. Anais... Seropédica, UFRRJ, 2008. 1 CD-ROM.





