



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

FAGNER PINHEIRO DA CONCEIÇÃO

**EMBUTIMENTO EM MADEIRA DE PINUS SOB EFEITO DO LENHO, DIREÇÃO
DE CARREGAMENTO E UMIDADE**

Prof. Dr. ALEXANDRE MIGUEL DO NASCIMENTO
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
NOVEMBRO – 2017



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

FAGNER PINHEIRO DA CONCEIÇÃO

**EMBUTIMENTO EM MADEIRA DE PINUS SOB EFEITO DO LENHO, DIREÇÃO
DE CARREGAMENTO E UMIDADE**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. ALEXANDRE MIGUEL DO NASCIMENTO
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
NOVEMBRO – 2017

**EMBUTIMENTO EM MADEIRA DE PINUS SOB EFEITO DO LENHO, DIREÇÃO
DE CARREGAMENTO E UMIDADE**

FAGNER PINHEIRO DA CONCEIÇÃO

Monografia aprovada em 01 de novembro de 2017.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Alexandre Miguel do Nascimento
UFRRJ/IF/DPF
Orientador

Prof. Dr. Edvã Oliveira Brito
UFRRJ/IF/DPF
Membro

M.Sc. Carolina Nogueira Xavier
UFLA/DCF
Membro

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais
Marli Pinheiro e Luís da Conceição.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter sido presente em todos os momentos de minha vida. Sem Ele nada seria possível.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro por ter me proporcionado crescimento profissional e pessoal.

Ao professor Alexandre Miguel do Nascimento, por ter me aceito como orientado e ter me apresentado o projeto. Obrigado pela paciência, orientação e amizade.

Aos membros da banca, Professor Edvã Brito e Carolina Xavier, pela contribuição valiosa nesse trabalho.

Aos meus pais, Marli e Luís, por terem sempre me incentivado a estudar, mesmo com todas as adversidades que surgiam em nossas vidas.

À minha prima e ao seu esposo, Creidiane e Oziel Lima, por fazerem da casa deles um refúgio para mim quando o ambiente universitário começava a se tornar sufocante.

Aos meus amigos Eder Duarte e Thiago Oliveira por terem permanecido ao meu lado mesmo com quilômetros nos separando.

À Isabel Camargo pela ajuda com os ensaios e companhia no Laboratório de Propriedades Mecânicas.

Aos companheiros e amigos da turma de Engenharia Florestal 2012-II, Ana Couto, Ana Rodrigues, Beatriz Griffo, Beatriz Rodrigues, Caio Frossard, Caroline Almeida, Iohann Lima, João Elves, Juçara Garcia, Laiza Dagnaisser, Lucas Nunes, Luiz Siciliano, Natália Baptista, Nayara Franzini, Pedro Vaz, Ricardo Oliveira e Stephany Guilherme cada um de vocês foi parte essencial em minha formação. Obrigado pelas risadas, conversas e, principalmente, pela amizade.

Aos meus veteranos, bixos e netos, Carlos Alves, Gabriel Rocha, Luan Lemos, Marcelle São Pedro, Miryelle Moret, Raissa Nascimento, Sabrina Mayer, Tatiane Barcelos, Victória Amaral, Wattson Quinelato, Ygor de Oliveira e Yuji Ito, pelos momentos de alegria e troca de conhecimento.

Aos ex-moradores do 432, Alan Azevedo, Camilo Yunes, Iero Xavier, Luiz Otávio, Ricardo Cavalcanti e Vinícius Girafa, por terem me recepcionado tão bem e ensinado-me lições que sempre estarão comigo.

Aos amigos e irmãos do M4 Cobertura, Ana Lúcia, Bruno Damasceno, Carlos Roberto, Cassio de França, Daniel Ambrozio, Ester Fonseca, Felipe Brasileiro, Jander Souza (*in memoriam*), Jennifer Ferreira, Jéssyka Sarcinelli, Júlio Carvalho, Kim Tiba, Lucas Braz, Luis Fernando, Maycow Berbet, Rafael Oliveira, Ricardo Ramos, Rodolfo Fernandes, Rubens Pereira e tantos outros, vocês foram minha família durante a graduação e com certeza os levarei em meu coração para o resto da vida.

RESUMO

A madeira é um material comumente utilizado em projetos estruturais, principalmente as oriundas de cultivos florestais, porém poucos são os estudos que avaliam as propriedades mecânicas destas espécies. Dentre estas propriedades encontra-se o embutimento. Na falta de valores experimentais, a resistência ao embutimento é calculada de acordo com o que preconiza a norma NBR 7190 (ABNT,1997) que assume que o embutimento paralelo pode ser considerado igual à compressão paralela e o embutimento normal às fibras é igual a um quarto da resistência na compressão vezes o valor de “alfa e” (α_e). Este trabalho verifica se estes pressupostos são verdadeiros para madeira de *Pinus caribaea* var. *caribae* sob influência do lenho de cerne e de alburno, da direção de carregamento e umidade além de comparar valores experimentais e calculados. Os corpos de prova foram confeccionados de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997), climatizados em dois ambientes distintos, sendo um deles em sala climatizada para alcançar o teor de umidade de 12% e outro em autoclave com umidade relativa do ar elevada, para atingir o teor umidade de 18% e os ensaios foram realizados em máquina universal de ensaio. Os resultados foram analisados estatisticamente por análise de variância e teste Tukey a 5% de significância. Os valores percentuais de variação da resistência em decorrência da variação de umidade são divergentes dos indicados pela NBR 7190 (ABNT, 1997). A resistência ao embutimento paralelo não é equivalente à resistência na compressão paralela. Os valores calculados e experimentais, para tensão resistente ao embutimento normal, são divergentes em alguns casos. O tipo de lenho não teve influência na tensão resistente ao embutimento paralelo e perpendicular. Os valores experimentais do coeficiente α_e foram distintos dos valores definidos pela NBR 7190 (ABNT, 1997).

Palavras-chave: *Pinus caribaea* var. *caribaea*; Madeira de reflorestamento; Propriedades mecânicas da madeira;

ABSTRACT

Wood is a material commonly used in structural projects, mainly those from forest plantations, but few studies assess the mechanical properties of these species. Among these properties is the embedment. In the absence of experimental values, the embedment resistance is calculated according to the norm NBR 7190 (ABNT, 1997), which assumes that the parallel embedment can be considered equal to the parallel compression and the normal embedment to the fibers is equal to one quarter of the resistance in compression times the value of "alpha e" (αe). This work verifies if these assumptions are true for wood of *Pinus caribaea* var. *caribaea* under the influence of heartwood and sapwood, the direction of loading and moisture, and to compare experimental and calculated values. The test specimens were made according to NBR 7190 (ABNT, 1997), air-conditioned in two different environments, one of them in an air-conditioned room to reach a moisture content of 12% and another in an autoclave with high relative humidity, to reach the moisture content of 18% and the tests were performed in universal testing machine. The results were analyzed statistically by analysis of variance and Tukey test at 5% of significance. The percentage values of resistance variation due to the variation of humidity are different from those indicated by NBR 7190 (ABNT, 1997). Parallel embedment strength is not equivalent to parallel compression strength. The calculated and experimental values for tension resistant to normal embedment are divergent in some cases. The wood type had no influence on the tension resistant to parallel and perpendicular embedment. The experimental values of the coefficient αe were different from the values defined by NBR 7190 (ABNT, 1997).

Keywords: *Pinus caribaea* var. *caribaea*; Reforestation wood; Mechanical properties of wood.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1 A espécie.....	2
2.2 Embutimento.....	3
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	4
3.1 Obtenção e desdobro do material.....	4
3.2 Confeção dos corpos de prova	5
3.3 Climatização	7
3.4 Ensaio mecânico	7
3.4.1 Compressão paralela às fibras da madeira	8
3.4.2 Embutimento	9
3.5 Correção da umidade	11
3.6 Análises estatísticas	11
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
5. CONCLUSÕES	15
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	16

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores de α_c para diferentes diâmetros de pinos metálicos	10
Tabela 2: Valores percentuais obtidos para variação da resistência em decorrência da variação de umidade para madeira de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	13
Tabela 3: Valores experimentais para resistência à compressão e ao embutimento (MPa), na direção paralela às fibras, em madeira de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	13
Tabela 4: Valores calculados e experimentais para resistência ao embutimento normal, em madeira de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	14
Tabela 5: Valores de α_c tabelados e experimentais para madeira de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	14

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Áreas de ocorrência das variedades da espécie <i>Pinus caribaea</i>	3
Figura 2: Toras de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i> em que nota-se a diferença entre cerne e alburno (A) e detalhe da coloração do lenho, com o cerne mais amarelado à esquerda e o alburno mais claro e com presença de manchas à direita (B).	5
Figura 3: Dimensionamento dos corpos de prova para os ensaios de compressão paralela às fibras (A) e de embutimento (B), de acordo com a norma NBR 7190 (ABNT, 1997).	6
Figura 4: Corpos de prova, da espécie <i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i> , para ensaio de embutimento paralelo com lenho de cerne (esquerda) e alburno (direita).	7
Figura 5: Ensaio de embutimento paralelo da madeira de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i> em máquina universal de ensaio e utilização de extensômetro.	8
Figura 6: Diagrama de tensão versus deformação específica de embutimento.	9
Figura 7: Gráfico gerado a partir dos valores de α_e tabelados pela ABNT NBR 7190 (ABNT, 1997) para obtenção de valores em função dos diâmetros dos pinos usados no experimento.	10
Figura 8: Gráficos de embutimento para madeira de alburno climatizada a 12% de umidade (A), madeira de alburno climatizada a 18% de umidade (B), madeira de cerne climatizada a 12% de umidade (C), madeira de cerne climatizada a 18% de umidade (D).	12

1. INTRODUÇÃO

A madeira é um material orgânico, de grande variabilidade nas suas propriedades, o que lhe confere algumas vantagens e desvantagens na sua utilização. Esse material pode ser empregado em várias funções; logo, se faz necessário o estudo aprofundado das suas propriedades para melhor esclarecer quais as opções que o material oferece para ser utilizado.

A madeira tem ganhado um significativo valor nos projetos de arquitetura sustentável, especialmente pelo uso da madeira de reflorestamento que garante sua origem legal e por ser um produto de fonte renovável, estimulando a produção e o manejo sustentável de florestas plantadas no Brasil.

Porém, para projetos estruturais, é necessário melhor conhecer as propriedades físicas e mecânicas da madeira utilizada e assim poder dimensionar normativamente os elementos estruturais. Quando se trata de projeto de engenharia/arquitetura, deve-se pensar em todos os detalhes, para que não ocorram falhas construtivas e principalmente não colocar em risco a vida de nenhum ser vivo.

Segundo Meirelles et al (2007), ao longo da história da madeira no Brasil, o uso de técnicas construtivas inadequadas fizeram com que as construções em madeira fossem sinônimas de sub-habitação ou de pouca durabilidade. Porém, de acordo com Stamato (2012) as estruturas de telhados são responsáveis pelo maior consumo de madeira nas construções civis e o mesmo autor nota o crescimento do uso de madeira de reflorestamento na composição dessas estruturas.

Os estudos das propriedades da madeira devem ser considerados para que haja uma base de informações que estejam disponíveis para a execução dos projetos estruturais. Para obtenção dos valores das propriedades mecânicas e posterior caracterização das espécies é necessário a execução de ensaios que são padronizados pela NBR 7190 (ABNT, 1997). Destas propriedades pode-se citar: as propriedades de resistência na compressão paralela às fibras e o embutimento.

Em grandes estruturas de madeira se faz necessário o emprego de ligações nas peças de madeira utilizando elementos de ligação, os quais podem ser: anéis metálicos, cavilhas, chapas denteadas, parafusos, pregos e outros. As ligações mecânicas são de extrema importância em estruturas de madeira, pois normalmente são os pontos de maior fragilidade se tornando os pontos críticos e com isto há grande necessidade de que as emendas sejam muito bem dimensionadas. A ocorrência de falha em uma ligação pode colocar em risco todo o resto da edificação (CALIL NETO, 2014).

De acordo com Calil Neto (2014) os pinos metálicos são os conectores mais utilizados na construção civil em madeira, pois permitem fácil instalação e podem ser utilizados em inúmeras configurações de ligações. Os pinos metálicos são exemplificados pelos pregos e pelos parafusos. Usando os pinos metálicos é necessário fazer o ensaio que define a resistência ao embutimento, determinada pelas tensões causadas pelos pinos nas peças de madeira.

De acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997) a resistência ao embutimento na direção paralela às fibras, na ausência de ensaios, pode ser considerada igual à resistência à compressão na direção paralela às fibras da madeira, porém tem se verificado que esta

condição não é aplicável a todas as espécies (NASCIMENTO et al., 2012; ALMEIDA et al., 2014b). O mesmo tem sido questionado quanto o efeito da umidade e o tipo de lenho (NASCIMENTO et al., 2012, XAVIER et al. 2016)

Objetiva-se então, o estudo do comportamento da madeira de *Pinus caribaea* var. *caribaea* submetida a ensaios de embutimento sob efeito do teor de umidade, direção de carregamento, diâmetro do pino metálico e tipo de lenho (cerne e alborno).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A espécie

A espécie é pertencente ao gênero *Pinus*, da ordem Coniferae, grupo das Gymnospermae. Possuindo grande número de espécies, o gênero *Pinus* possui ocorrência natural do ártico até a região tropical, porém não ocorre naturalmente na América do Sul onde foi introduzido inicialmente por finalidade ornamental e posteriormente para a produção madeireira (MIROV, 1967; KRAL 1993).

O cultivo das espécies do gênero *Pinus* iniciou-se nas regiões sul e sudeste do Brasil com as espécies *Pinus taeda* e *P. elliottii* (SHIMIZU e MEDRADO, 2005). Posteriormente espécies tropicais foram introduzidas, tais como *P. caribaea*, *P. oocarpa*, *P. tecunumanii*, *P. maximinoi* e *P. patula*, possibilitando a expansão da cultura de *Pinus* em todo o país, usando-se a espécie adequada para cada região ecológica.

A espécie *P. caribaea* é de rápido crescimento, produz madeira resinosa, muito útil na produção de madeira e de papel. É muito usada para diversas finalidades, como a carpintaria, laminados, aglomerados, lenha, móveis, cercas, chapas, ladrilhos, dormentes, tintas, celulose, entre outros produtos (CHUDNOFF, 1984; FRANCIS, 1992; WANG et al., 1999).

A espécie *Pinus caribaea* compreende três variedades de pinheiros, sendo elas *Pinus caribaea* var. *caribaea*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus caribaea* var. *bahamensis*. A variedade *caribaea* ocorre de forma natural na região ocidental de Cuba (Figura 1), em Pinal Del Rio e na Isla de La Juventud, em solos ácidos e bem drenados e em elevações que variam do nível do mar até 700 metros (FARJON e STYLES, 1997). Ainda de acordo com o autor a variedade é utilizada em construções.



Figura 1: Áreas de ocorrência das variedades da espécie *Pinus caribaea*.

Fonte: USGS 1999

2.2 Embutimento

Para a confecção de estruturas de madeira é indispensável a utilização de ligações. Para o cálculo de resistência das ligações é fundamental conhecer a resistência ao embutimento (fed). A resistência ao embutimento é definida pela razão entre a força F_e que causa uma deformação específica residual de 0,2% e a área de embutimento do pino ($A = t.d.$). Stamato e Calil Júnior (2002) consideraram a resistência de uma ligação de madeira dependente na flexão do pino (cavilhas, parafusos ou pregos) e ao embutimento destes na madeira, e propuseram o estudo separado dos fenômenos. Consideraram como embutimento, as tensões que surgem do contato entre o pino e a madeira na ligação no momento da penetração, ou durante a atuação de uma força externa quando na atuação solidária dos corpos de madeira.

Como a orientação das fibras das peças de madeira varia, assim como o sentido da força que nela é aplicada, Valle et al (2000) fez estudos de resistência ao embutimento aonde apresentam resultados desse tipo de avaliação em diferentes ângulos de orientação das fibras.

Nos últimos anos, alguns artigos vêm questionando algumas afirmativas da NBR 7190 (ABNT, 1997) quanto à equivalência entre a resistência na compressão e no embutimento, os valores de k_{mod} 's, referente, especialmente ao teor de umidade na madeira e seu efeito sobre a tensão resistente de calculo, assim como o real efeito dos diâmetros dos pinos sobre a tensão resistente ao embutimento quando aplicado perpendicularmente às fibras.

Nascimento et al. (2012) comparando a resistência na compressão com a resistência ao embutimento para três distintas espécies de eucaliptos, observaram a não equivalência entre a resistência ao embutimento e compressão, a não ser na espécie com maior idade e predominância de madeira madura. Assim como Almeida et al (2014b), estudando a resistência ao embutimento das madeiras de reflorestamento, pela norma Brasileira e Européia, perceberam que a resistência na compressão e ao embutimento não foram consideradas equivalentes, quando testadas na compressão paralela.

Almeida et al (2014a) estudando madeira de reflorestamento (*Pinus taeda*) perceberam que o cálculo da resistência ao embutimento paralelo às fibras proposta pela Norma, igualando ao valor de resistência na compressão na mesma direção, segundo norma brasileira NBR7190 (ABNT, 1997), mostrou-se verdadeira, o mesmo não ocorrendo na direção perpendicular, possivelmente justificada pelos valores de α_c ao embutimento. O mesmo autor indica a necessidade de novos estudos que venham a contribuir com maiores informações a respeito do embutimento na madeira, possibilitando o desenvolvimento de projetos estruturais mais seguros.

Xavier et al (2014) estudando a resistência ao embutimento em madeira de reflorestamento (*Corymbia citriodora*) com idade de 17 e 64 anos, concluíram que houve diferença entre a resistência ao embutimento em função da idade, para dois tipos de pinos metálicos.

Ainda, Almeida et al. (2014b) compararam as resistências ao embutimento e a compressão paralela revelaram a não equivalência entre os valores de resistências comparadas, apenas para a madeiras de *Pinus oocarpa*, evidenciando, assim, a importância da determinação da resistência da madeira ao embutimento por meio de ensaios laboratoriais normalizados.

O mesmo fez Baena (2015) cujo estudo teve por objetivo realizar comparação dos critérios de dimensionamento das normas ABNT NBR:7190, versões 1997 e 1982, com as normas EUROCODE 5: 2004, LRFD: 1996, AS: 1994. Com intuito semelhante Almeida et al, (2016) fizeram estudo comparativo entre as normas brasileira, americana e européia que normatizam o estudo ao embutimento da madeira e concluíram que o método experimental adotado pela norma brasileira leva a subestimar os valores da resistência ao embutimento em relação ao valor que vem sendo mais utilizado atualmente.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Obtenção e desdobro do material

O material utilizado foi proveniente de três árvores de *Pinus caribaea var. caribaea*, com idade aproximada de quarenta e cinco anos. As toras (Figura 2A) foram desdobradas em pranchas com três centímetros de espessura, para confecção dos corpos de prova de embutimento, e com seis centímetros de espessura, para os corpos de prova de compressão, sendo que para estes foram utilizadas pranchas radiais (pranchão central).



Figura 2: Toras de *Pinus caribaea* var. *caribaea* em que nota-se a diferença entre cerne e alburno (A) e detalhe da coloração do lenho, com o cerne mais amarelado à esquerda e o alburno mais claro e com presença de manchas à direita (B).

3.2 Confeção dos corpos de prova

Os corpos de prova foram confeccionados de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997) (Figura 3). Os corpos de prova de embutimento (Figura 4) possuem suas dimensões em função do diâmetro do pino metálico utilizado, neste estudo foram utilizados os seguintes diâmetros de pinos metálicos 7 mm (0,698 cm), 10 mm (0,988 cm) e 12 mm (1,186 cm). Tomou-se o cuidado de confeccionar corpos de prova com madeira de alburno e com madeira de cerne, separadamente, sendo o critério de análise apenas visual uma vez que na espécie essa divisão entre os tipos de lenho é distinta (Figura 2B). Foram confeccionados 120 corpos de prova de forma que para cada situação usou-se seis repetições.

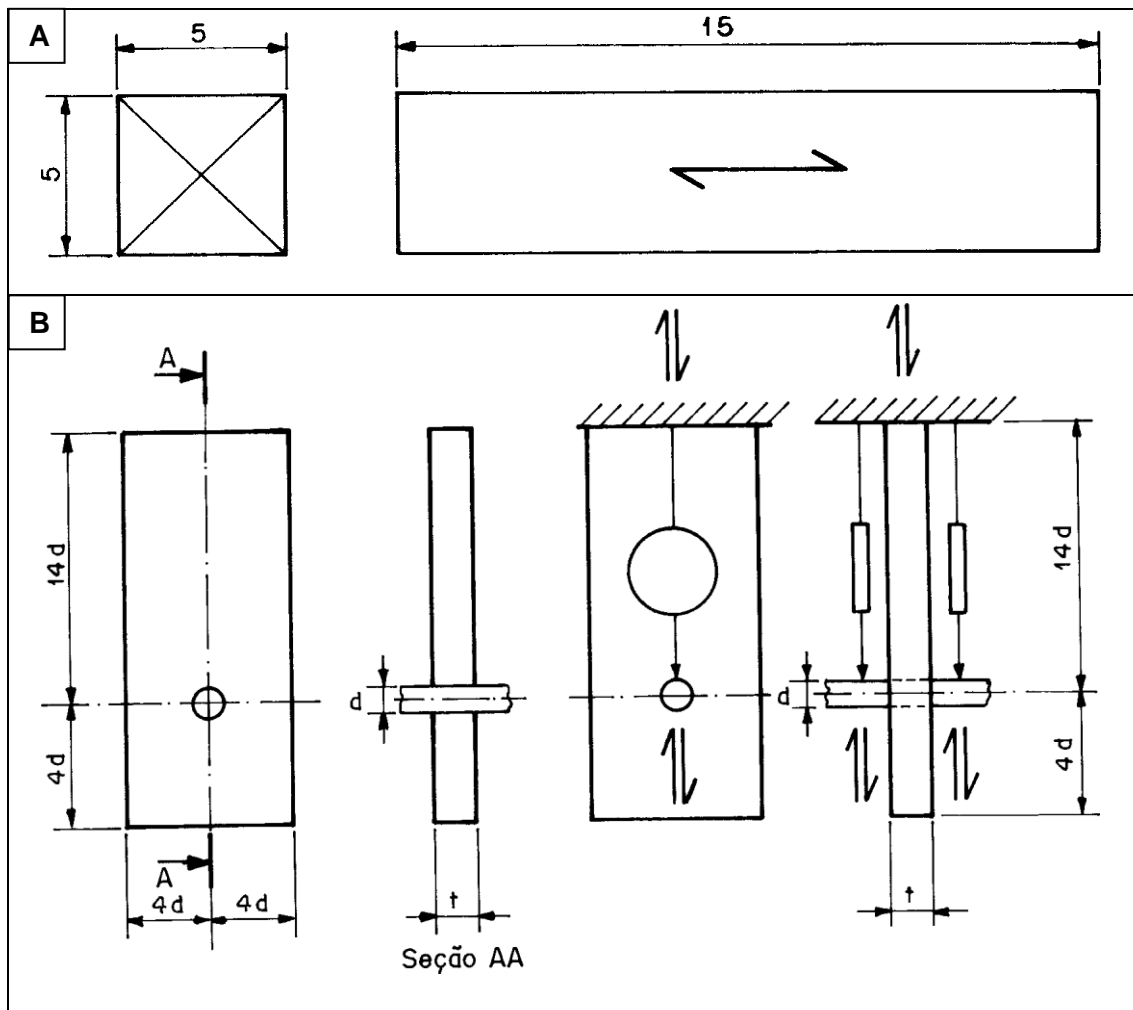


Figura 3: Dimensionamento dos corpos de prova para os ensaios de compressão paralela às fibras (A) e de embutimento (B), de acordo com a norma NBR 7190 (ABNT, 1997).

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997).



Figura 4: Corpos de prova, da espécie *Pinus caribaea* var. *caribaea*, para ensaio de embutimento paralelo com lenho de cerne (esquerda) e alburno (direita).

3.3 Climatização

A climatização dos corpos de prova foi realizada em duas condições: em sala climatizada, a uma temperatura média ambiente de 22°C e umidade relativa do ar entre 65 e 70% e dentro de uma alto-clave, com presença de água no fundo da mesma, com temperatura média ambiente de 22°C e umidade relativa do ar entre 85 e 90%. Realizou-se então acompanhamento com medições e pesagens constantes para aferir a perda ou ganho de umidade até que esta estivesse aproximadamente à umidade desejada de 12% ou 18%.

3.4 Ensaios mecânicos

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Propriedades Mecânicas da Madeira em máquina universal de ensaio da marca Contenco com capacidade para 30 toneladas e utilização de extensômetro para aferir a deformação dos corpos de prova (Figura 5).

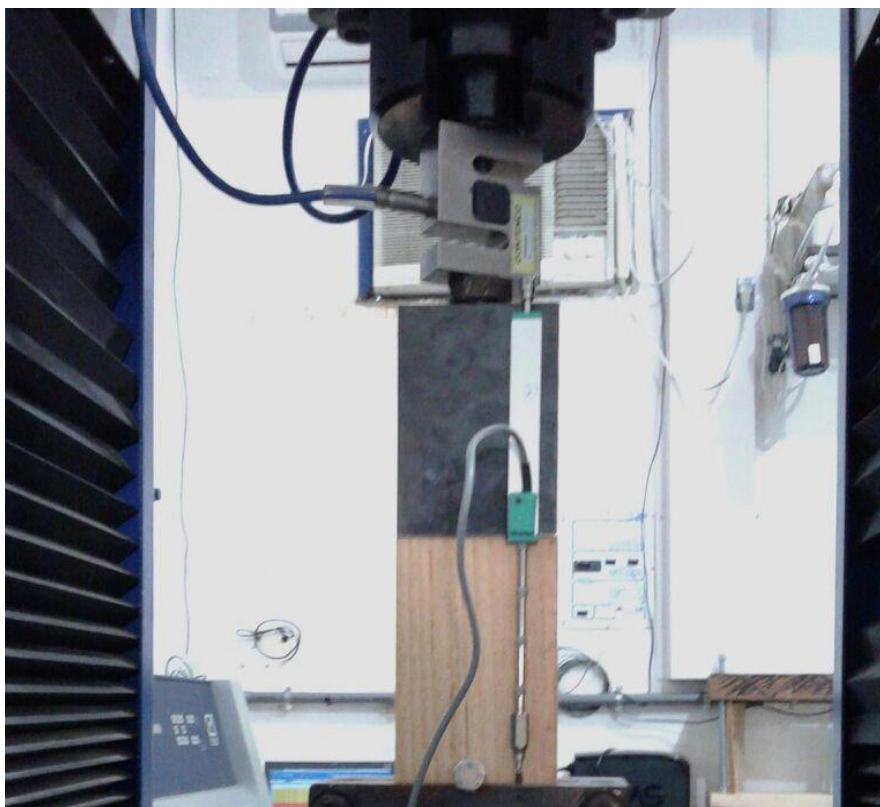


Figura 5: Ensaio de embutimento paralelo da madeira de *Pinus caribaea* var. *caribaea* em máquina universal de ensaio e utilização de extensômetro.

3.4.1 Compressão paralela às fibras da madeira

Para determinação das propriedades físicas, de umidade e densidade, e mecânicas, de resistência e rigidez, da madeira foi usada a norma NBR 7190 (ABNT, 1997).

As propriedades foram categorizadas em função do tipo de lenho (cerne e alburno) e pelo teor de umidade de equilíbrio. Assim determinaram-se as propriedades da madeira de alburno e cerne na compressão paralela às fibras, para dois teores de umidade (12 e 18%), com seis repetições para cada condição.

Os corpos de prova de compressão foram testados em máquina universal de ensaio marca Contenco com capacidade de 30 Toneladas, onde foram levados até a ruptura. Foram determinadas as deformações dos corpos de prova, através de extensômetros, até a ruptura do mesmo. O resultado da carga de ruptura define a carga limite para resistência da madeira à compressão paralela às fibras conforme a Equação 1.

$$f_{c0} = \frac{F_{c0\max}}{A} \quad (1)$$

Em que: F_{c0max} = máxima força aplicada ao corpo durante o ensaio; A = área inicial da seção transversal do corpo;

3.4.2 Embutimento

A resistência ao embutimento é definida como a razão entre a força que causa a deformação específica residual de 2‰ e a área de embutimento do pino metálico, ou área do pino metálico em contato com a madeira. A área de embutimento é obtida pelo produto do diâmetro do pino metálico e a espessura da peça de madeira (Figura 2), de acordo com a Equação 2, para determinação da resistência ao embutimento paralelo às fibras utilizou.

$$f_{e0} = \frac{F_{e0}}{td} \quad (2)$$

Em que: f_e : resistência ao embutimento (MPa); F_{e0} : força que causa a deformação específica residual de 2‰ (N); t : espessura da peça de madeira (mm); d : diâmetro do pino metálico (mm)

Para essa finalidade, a resistência ao embutimento nas direções paralela e perpendicular, em relação às fibras da madeira, foi determinada a partir do diagrama tensão x deformação específica de embutimento (Figura 6).

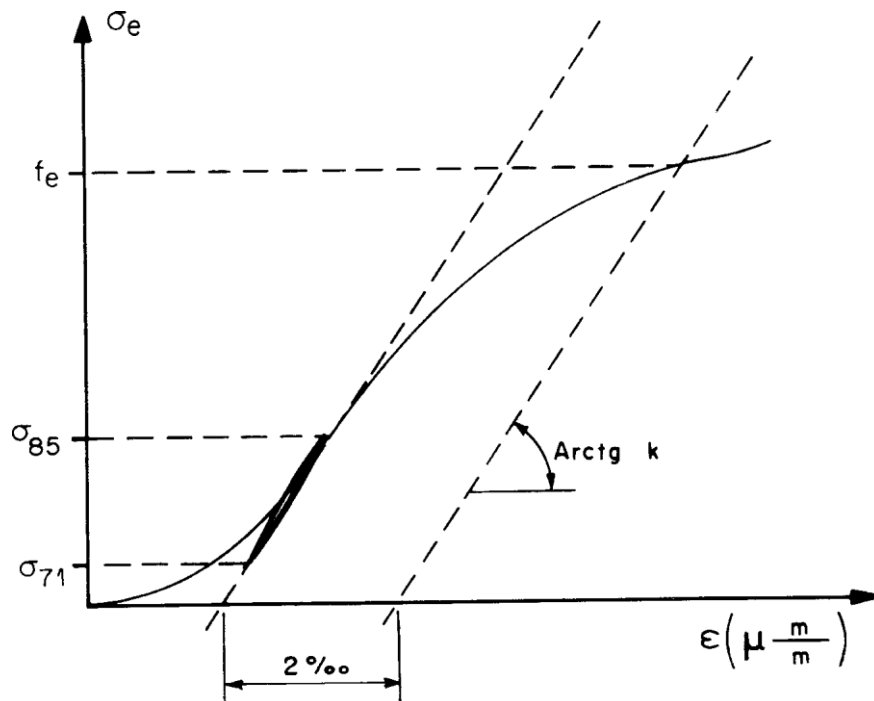


Figura 6: Diagrama de tensão versus deformação específica de embutimento.

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997).

Segundo a NBR 7190 (ABNT, 1997), no caso de ausência de ensaios experimentais específicos, a resistência ao embutimento da madeira na direção paralela (f_{e0}) pode ser adotada como sendo igual à resistência à compressão paralela e a resistência ao embutimento normal em relação às fibras da madeira sendo determinada a partir da Equação 3.

$$f_{e90} = 0,25 \cdot f_{c0} \cdot \alpha_e \quad (3)$$

Em que: f_{e90} é a resistência ao embutimento na direção perpendicular às fibras (MPa); f_{c0} é a resistência à compressão paralela às fibras (MPa); α_e é o coeficiente em função do diâmetro do pino metálico.

Os valores do coeficiente α_e encontram-se na Tabela 1. Para calcular os valores de resistência ao embutimento normal realizou-se interpolação com uso de regressão dos valores tabelados (Figura 7), uma vez que os diâmetros utilizados neste estudo não encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1: Valores de α_e para diferentes diâmetros de pinos metálicos

Diâmetro do pino (mm)	6,2	9,5	12,5	16	19	22	25	31	38	44	50	75
α_e	2,5	1,95	1,68	1,52	1,41	1,33	1,27	1,19	1,14	1,1	1,07	1

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997).

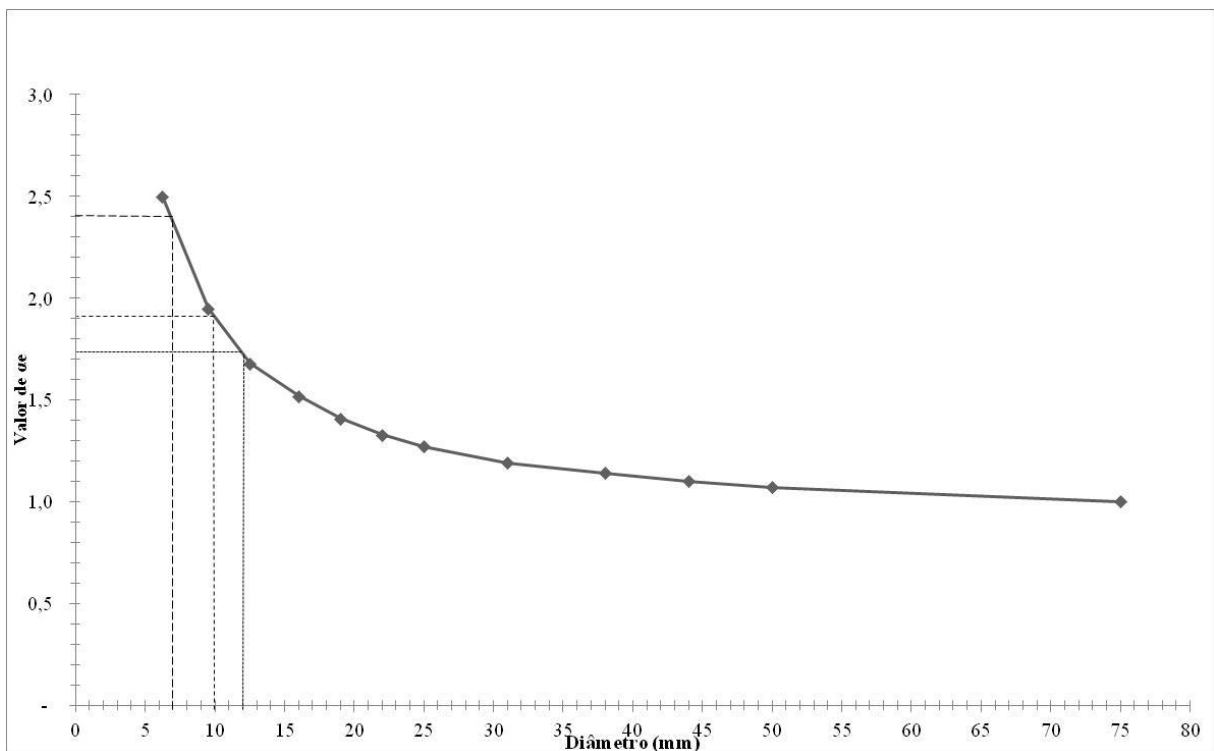


Figura 7: Gráfico gerado a partir dos valores de α_e tabelados pela ABNT NBR 7190 (ABNT, 1997) para obtenção de valores em função dos diâmetros dos pinos usados no experimento.

Deste modo foram calculados os valores teóricos da resistência ao embutimento paralelo e perpendicular às fibras, e comparados aos valores obtidos experimentalmente.

3.5 Correção da umidade

Como as propriedades mecânicas da madeira são alteradas de acordo com o teor de umidade, os valores dos dados experimentais foram corrigidos para as umidades de 12% e 18% de acordo com a Equação 4.

$$f_{12} = f_u \left[1 + \frac{\Delta(U-12)}{100} \right] \quad f_{18} = f_u \left[1 + \frac{\Delta(U-18)}{100} \right] \quad (4)$$

Em que: f_{12} e f_{18} = tensão corrigida para umidade de 12% e 18%, respectivamente; f_u = tensão na umidade real a ser corrigida; Δ = fator de correção; U = umidade real a ser corrigida.

O fator de correção para cada propriedade foi obtido a partir da Equação 5.

$$\Delta = \frac{\Delta f}{\%Tu} \quad (5)$$

Em que: Δ = fator de correção; Δf = variação da resistência a ser corrigida; $\%Tu$ = variação do teor de umidade da propriedade a ser corrigida.

3.6 Análises estatísticas

As variáveis estudadas, relativas às propriedades mecânicas de compressão e embutimento foram submetidas à verificação de normalidade e da heterocedasticidade, pressupostos para aplicação da análise de variância, e para tal usou-se o método de Kolmogorov-Smirnov e Levene, respectivamente, ao nível de 5% de significância.. Quando diferenças entre tratamentos foram detectadas, no campo paramétrico, usou o teste de Tukey, ao nível de 5% de significância, para diferenciar as médias ou médias dos postos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após os ensaios foram gerados gráficos para obtenção das variáveis de interesse. Na Figura 7 tem-se exemplos de alguns resultados obtidos.

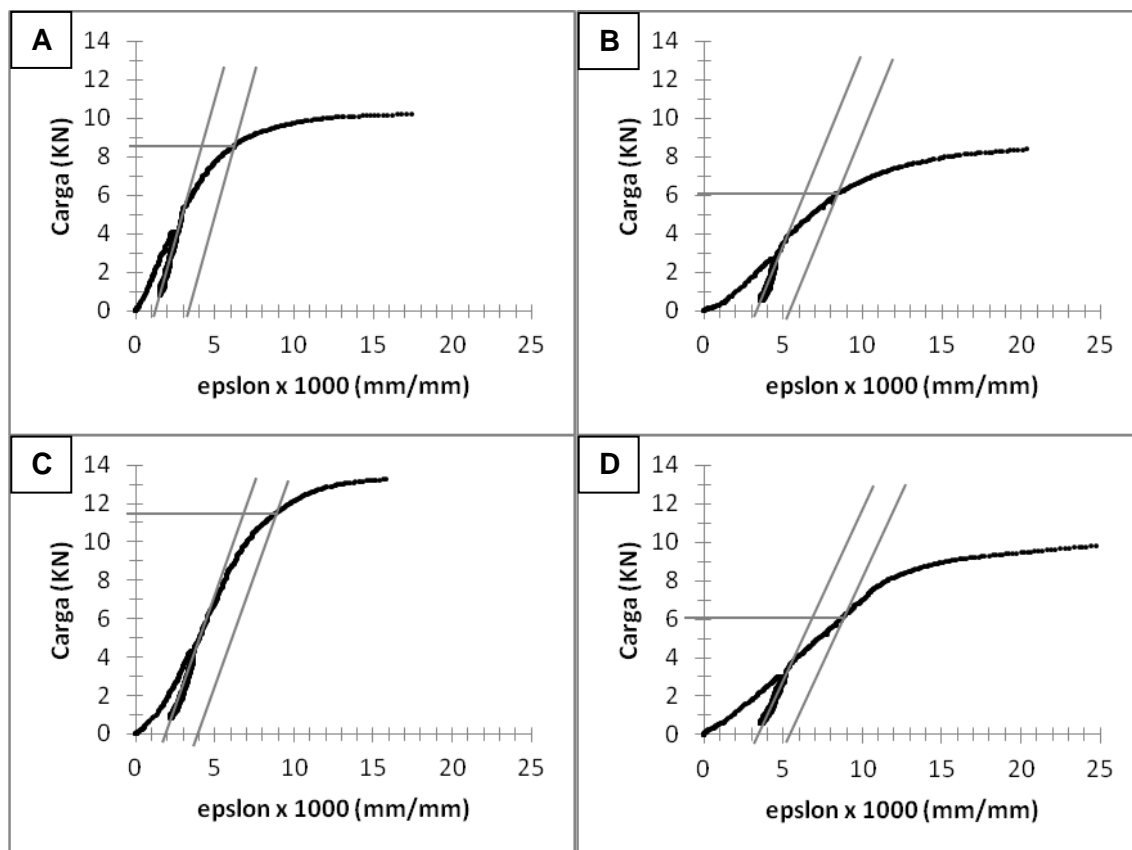


Figura 8: Gráficos de embutimento para madeira de alburno climatizada a 12% de umidade (A), madeira de alburno climatizada a 18% de umidade (B), madeira de cerne climatizada a 12% de umidade (C), madeira de cerne climatizada a 18% de umidade (D).

Como esperado, o teor de umidade interferiu nas propriedades mecânicas da madeira. Na Tabela 2 encontram-se os valores referentes à variação percentual de resistência para cada grau de variação de umidade. Nota-se que os valores divergem dos mencionados pela NBR 7190 (ABNT, 1997) que tabela os valores de 3% para resistência e 2% para rigidez. Porém os resultados vão de encontro aos obtidos por Bodig e Jayne (1982), que apresentam os valores de 5% para o limite de proporcionalidade em ensaios de compressão e flexão, 6% para a resistência na compressão e 4% na flexão.

Tabela 2: Valores percentuais obtidos para variação da resistência em decorrência da variação de umidade para madeira de *Pinus caribaea* var. *caribaea*

Lenho	Valores de Δ (%)			Tabelado
	f_{c0}	f_{e0}	f_{e90}	
Cerne	6,29	7,41	3,75	3,00
Alburno	5,99	7,37	6,13	3,00
Média	6,14	7,39	4,94	3,00

Onde: f_{c0} é a resistência à compressão paralela; f_{e0} é a resistência ao embutimento paralelo; f_{e90} é a resistência ao embutimento normal; Tabelado é o valor de delta estabelecido pela ABNT NBR 7190 (ABNT, 1997).

Os valores de tensão resistente na compressão paralela foram diferentes dos valores obtidos para a tensão resistente ao embutimento na mesma direção (Tabela 3). Nascimento et al (2012) e Almeida et al (2014b) também encontraram valores para resistência na compressão e no embutimento que não foram equivalentes ao que a norma preconiza, mostrando que os resultados variam de acordo com a espécie estudada. No embutimento, houve uma pequena diferença numérica entre os resultados do cerne e do alburno, quando comparados no mesmo teor de umidade, porém esta não foi significativa. Na compressão, no mesmo teor de umidade, a madeira de alburno se diferenciou da madeira de cerne, apresentando os maiores valores médios de resistência.

Tabela 3: Valores experimentais para resistência à compressão e ao embutimento (MPa), na direção paralela às fibras, em madeira de *Pinus caribaea* var. *caribaea*

Propriedade (MPa)	Cerne		Alburno	
	Umidade (%)		Umidade (%)	
	12	18	12	18
f_{c0}	40,6 _(3,7) ^{aB}	30,0 _(2,3) ^{aD}	46,3 _(4,2) ^{aA}	34,4 _(2,7) ^{aC}
f_{e0}	32,1 _(3,6) ^{bA}	22,9 _(3,3) ^{bBC}	28,7 _(3,3) ^{bAC}	21,4 _(2,4) ^{bB}

Em que f_{c0} é a resistência à compressão paralela em MPa; f_{e0} é a resistência ao embutimento paralelo em MPa. Os valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão. Letras minúsculas comparam as médias na mesma coluna enquanto letras maiúsculas comparam as médias na mesma linha, pelo teste Tukey a 5% de significância.

Quanto aos dados de embutimento normal nota-se que todos os valores possuem diferença numérica, sendo os calculados sempre superiores aos dados provenientes de experimento, porém, em alguns casos, esta diferença foi comprovada significativamente (Tabela 4). Este fato já foi observado por Almeida, et al, (2014a), que encontraram resultados divergentes ao que a ABNT NBR 7190 (ABNT, 1997) preconiza. Não houve diferença significativa entre o tipo de lenho de modo que o comportamento observado por Xavier, et al (2014) não ocorreu para madeira de *Pinus caribaea* var. *caribaea*.

Tabela 4: Valores calculados e experimentais para resistência ao embutimento normal, em madeira de *Pinus caribaea* var. *caribaea*

U%	f_{c90} (MPa)	7 mm		Média	10 mm		Média	12 mm		Média
		Cerne	Alburno		Cerne	Alburno		Cerne	Alburno	
12	Calc.	24 _(2,0) ^a	28 _(2,5) ^a	26,1	19 _(1,6) ^a	22 _(2,0) ^a	20,6	18 _(1,4) ^a	20 _(1,8) ^a	19,0
	Exp.	15 _(3,0) ^{bA}	20 _(3,1) ^{aB}	17,3	17 _(2,3) ^{aA}	16 _(1,1) ^{bA}	16,4	17 _(2,8) ^{aA}	15 _(1,9) ^{bA}	15,6
	C/E	1,7	1,4	1,5	1,2	1,4	1,3	1,1	1,4	1,2
18	Calc.	18 _(1,4) ^a	21 _(1,6) ^a	19,3	14 _(1,1) ^a	16 _(1,2) ^a	15,3	13 _(1,0) ^a	15 _(1,1) ^a	14,1
	Exp.	16 _(1,8) ^{aA}	15 _(3,4) ^{bA}	15,3	14 _(1,7) ^{aA}	14 _(2,1) ^{aA}	14,2	11 _(1,5) ^{aA}	10 _(2,6) ^{bA}	10,6
	C/E	1,2	1,4	1,3	1,0	1,1	1,1	1,2	1,5	1,3

Em que: U% é a umidade de equilíbrio dos corpos de prova; f_{c90} é a tensão resistente ao embutimento normal em MPa; Calc. representa os valores calculados; Exp. representa os valores obtidos experimentalmente; C/E. representa a razão entre os valores calculado e experimentais. Letras minúsculas comparam médias na mesma coluna e com mesmo teor de umidade, letras maiúsculas comparam médias na mesma linha e com mesmo diâmetro de pino metálico, pelo teste Tukey a 5% de significância.

A partir da Equação 4 calculou-se o α_e experimental (Tabela 5). Os valores tabelados são superiores aos experimentais, o que acarreta em valores calculados de tensão resistente ao embutimento normal superestimados, o que vai de encontro aos resultados obtidos por Almeida, et al, (2014a), que justificaram a diferença entre valores calculados e experimentais pelo valor do coeficiente α_e .

Tabela 5: Valores de α_e tabelados e experimentais para madeira de *Pinus caribaea* var. *caribaea*

Pino (mm)	α_e tabelado	α_e experimental				Média
		Cerne		Alburno		
		12	18	12	18	
7	2,40	1,47	2,07	1,73	1,76	1,76
10	1,90	1,65	1,88	1,39	1,68	1,65
12	1,75	1,64	1,46	1,29	1,22	1,40

Os resultados ressaltam a importância da realização de ensaios mecânicos, pois os valores calculados costumam ser superiores aos experimentais, ou seja, tendem a ser superestimados. Este fato pode acarretar em projetos mal dimensionados e colocar em risco a vida de seres humanos. Almeida, et al, (2014a) também notaram essa divergência aos

estudarem a madeira de *Pinus taeda* e salientam a necessidade de novos estudos para produção de projetos mais seguros.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que, para a madeira de *Pinus caribaea* var. *caribaea*:

- Os valores percentuais de variação da resistência em decorrência da variação de umidade são divergentes dos indicados pela norma NBR 7190 (ABNT, 1997);
- A resistência ao embutimento paralelo difere da resistência à compressão paralela;
- Os valores calculados e experimentais, para tensão resistente ao embutimento normal, são divergentes em alguns casos;
- O tipo de lenho não teve influência na tensão resistente ao embutimento paralelo e perpendicular;
- Os valores experimentais do coeficiente α_e foram distintos dos valores definidos pela NBR 7190 (ABNT, 1997).

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, D. H., FERRO, F. S.; VARANDA, L. D.; ROCCO LAHR, F. A.; CHRISTOFORO, A. L.; MOLINA, J. C.; CALIL JUNIOR, C. Comparação entre valores de ensaios experimentais e calculados da resistência ao embutimento da madeira de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.38, n.2, p.p.347-352, 2014a.

ALMEIDA, D. H., SCALIANTE, R. M.; CHRISTOFORO, A. L.; ROCCO LAHR, F. ; MOLINA, J. C.; CALIL JUNIOR, C. . Comparação das resistências ao embutimento paralelo às fibras de madeiras de *Pinus oocarpa*, Cumaru e *Pinus taeda*. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 3, p. 113-119, jul./set. 2014b.

ALMEIDA, D. H.; DIAS, A. A.; Resistência da madeira ao embutimento: comparação entre métodos de ensaios. In: **Encontro Brasileiro de Madeira e Estruturas de Madeira**, 15., 2016, Curitiba - PR. Anais... Curitiba - PR: UFPR; Ibramem, 2016. Cd Rom.

AMERICAN NATIONAL STANDARD FOR WOOD PRODUCTS / AMERICAN FOREST AND PAPER ASSOCIATION. **LRFD**: Load and resistance factor design. Washington: ANSI/AF&PA, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7190**: Cálculos e execução de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1982.

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

BAENA, J. S.; **Comparação dos critérios de dimensionamento de ligações por pinos metálicos (parafusos) em estruturas de madeira**. São Carlos, SP, 2015. 115 pg.

BODIG, J.; JAYNE, B. A. **Mechanics of wood and wood composites**. Van Nostrand Reinhold, New York. 1982.

CALIL NETO, C. (2014). Ligações com Parafusos Auto-Atarraxantes sem Pré-Furação para uso em Estruturas de Madeira. **Tese (doutorado)**. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

CHUDNOFF, M. **Tropical Timbers of the World**, Agriculture Handbook, Washington: USDA Forest Service, n. 607, 1984, 466p.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EUROCODE 5**: Design of timber structures - Part 1-1: General rules for buildings. Brussels: CEN, 2004.

FARJON, A.; STYLES, B. T. 1997. ***Pinus* (Pinaceae)**. **Flora Neotropica**. 1997. 75p. Monografia - NY: The New York Botanical Garden, New York.

FRANCIS, J. K. *Pinus caribaea* Morelet, Caribbean pine. **Forest Service**, New Orleans: Department of Agriculture, Southern Forest Experiment Station, 10p., 1992.

KRAL, R. 1993. *Pinus*. **Flora of North America Editorial Committee (eds.): Flora of North America North of Mexico**, Vol. 2. Oxford University Press. Disponível em: http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=1&taxon_id=125519 Acesso: 13 de Setembro de 2017.

MEIRELLES, C.R.M.; DINIS, H.; SEGALL, M. L.; SANT'ANNA, S.S. Considerações sobre o uso da madeira no Brasil em construções habitacionais. **III Fórum de Pesquisa FAU**. Mackenzie. São paulo, 2007.

MIROV, N. T. The genus *Pinus*. **The Ronald Press**, New York. 1967. 610p.

NASCIMENTO A. M.; XAVIEIR, C. N.; SILVA, M.A.; NASCIMENTO, L. A. C. Resistências à compressão e ao embutimento, e densidade das madeiras de *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus paniculata*. In: **Encontro Brasileiro de Madeira e Estruturas de Madeira**, 13., 2012, Vitória-Es. Anais... Vitória-ES: UFES; Ibramem, 2012. Cd Rom.

SHIMIZU, J. Y.; MEDRADO, M. J. S. Cultivo do *Pinus*. **Sistemas de Produção Embrapa Florestas**, n.5, p.1-18, 2005. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus>>. Acesso em: 15 de Setembro de 2017.

STAMATO, G. C. Utilização de madeira de florestas plantadas para construção de habitações. In: **CONGRESSO FLORESTAL PARANAENSE**, 4., 2012, Curitiba. **Anais**. Curitiba: Malinovski, 2012. p. 1 - 10. Disponível em: <<http://malinovski.com.br/CongressoFlorestal/Palestras/Palestra-12.pdf>>. Acesso em: 15 de Setembro de 2017.

STAMATO, G. C., CALIL JÚNIOR. C. (2002) Resistência ao embutimento da madeira compensada. **Caderno de Engenharia de Estruturas**, São Carlos, nº 18, p 49 – 76.

STANDARDS ASSOCIATION OF AUSTRALIA. **TIMBERS STRUCTURES**: Part 1 – Design methods. Sidney: SAA, 1994.

U.S. Geological Survey, 1999, **Digital representation of "Atlas of United States Trees" by Elbert L. Little, Jr.** <<http://climchange.cr.usgs.gov/data/atlas/little/>>. Disponível em: <http://www.conifers.org/pi/Pinus_caribaea.php>. Acesso em: 15 de Setembro de 2017.

VALLE, A.; KÖHLER, A. D.; SZÜCS, C. A.; FUSCO, P. B. Determinação experimental da resistência e da rigidez da madeira com orientação das fibras variável. IN: **Encontro Brasileiro de Madeira e Estruturas De Madeira**, 7, São Carlos - SP. Anais São Carlos – SP, 2000.

XAVIER, C.N.; NASCIMENTO, A.M.; SILVA, C.E.S.; SANTOS, P.V. PACE, J.H.C, CARVALHO, A.M. Resistência ao embutimento da madeira de *Corymbia citriodora* Hill & Johnson em diferentes idades, utilizando pinos metálicos. IN: **VIII Simposio Brasileiro de Pós-Graduação em Ciência Florestal**, 8, Recife- PE. Anais, Recife- PE 595-598 pg, 2014.

XAVIER, C. N.; NASCIMENTO, A. M.; NASCIMENTO, L. A. C.; SILVA, M. A. Efeito do teor de umidade e da direção de carregamento na resistência de ligações pregadas em madeiras de reflorestamento. **Ciência da Madeira** (Brazilian Journal of Wood Science) 7(1): 51-60, 2016.

WANG, H.; MALCOLM, D. C.; FLETCHER, A. M. *Pinus caribaea* in China: Introduction. genetic resources and future prospects. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 117, p. 1-15, 1999.