

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

GIOVANNA DORIGON

**COMPARAÇÃO EXPERIMENTAL E NUMÉRICA ENTRE O DIMENSIONAMENTO
DE LIGAÇÕES PREGADAS FEITAS DE ACORDO COM A ABNT NBR 7190:1997
E O EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2018

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

GIOVANNA DORIGON

**COMPARAÇÃO EXPERIMENTAL E NUMÉRICA ENTRE O DIMENSIONAMENTO
DE LIGAÇÕES PREGADAS FEITAS DE ACORDO COM A ABNT NBR 7190:1997
E O EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004**

Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Curitiba, Sede Ecoville, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira Civil.

Orientadora: Profa. Dra. Elisabeth Penner.

CURITIBA

2018



Ministério da Educação
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
Campus Curitiba – Sede Ecoville
Departamento Acadêmico de Construção Civil
Curso de Engenharia Civil

FOLHA DE APROVAÇÃO

**COMPARAÇÃO EXPERIMENTAL E NUMÉRICA ENTRE O DIMENSIONAMENTO
DE LIGAÇÕES PREGADAS FEITAS DE ACORDO COM A ABNT NBR 7190:1997
E O EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004**

Por

GIOVANNA DORIGON

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, defendido no segundo semestre de 2018 e aprovado pela seguinte banca de avaliação presente:

Profa. Orientadora – Elisabeth Penner, Dra.

UTFPR

Cristofer Bernardi Scremim, MSc.

UTFPR

Felipe Perreto, Esp.

UTFPR

OBS.: O documento assinado encontra-se em posse da coordenação do curso.

UTFPR - Deputado Heitor de Alencar Furtado, 5000 - Curitiba - PR Brasil - CEP 81280-340

secretariadacoc@gmail.com telefone DACOC +55 (41) 3279-4537 www.utfpr.edu.br.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe Ana Lucia Coelho Carvalho Dorigon que sempre me apoiou em todas as minhas decisões, me deu todo suporte necessário para conquista dos meus maiores sonhos e sempre foi uma grande motivação na minha trajetória.

Ao meu irmão Bruno Dorigon e à minha tia Maria Cristina Coelho Carvalho que foram grandes inspirações e exemplos de dedicação aos estudos e à carreira acadêmica.

Ao meu pai, Hugolino Dorigon Junior que mesmo de longe sempre me apoiou nas minhas escolhas e me incentivou nas minhas maiores dificuldades.

À minha família que me apoiou e deu grandes incentivos durante minha graduação.

À minha orientadora, Professora Dra. Elisabeth Penner, grande exemplo de superação e dedicação à engenharia, que transmitiu a mim um pouco do seu vasto conhecimento e serviu de inspiração para tomada de decisões e para o meu futuro.

Aos meus antigos técnicos de natação, Christian Carvalho, Ederley Scremin e Rodrigo Felipe, que me ajudaram a conciliar a vida acadêmica com a vida profissional esportiva e me ensinaram que com dedica o, trabalho duro e busca por excelência, tudo   possível.

RESUMO

Dorigon, Giovanna. **Comparação experimental e numérica entre o dimensionamento de ligações pregadas feitas de acordo com a ABNT NBR 7190:1997 e o EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004.** 2018. 66f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

A madeira é um material amplamente empregado na construção civil devido ao seu grande potencial estrutural. Sendo o Brasil um país repleto das mais diversificadas espécies, o mesmo possui um grande potencial para o desenvolvimento de construções em madeira. No entanto é visto que tal potencial não é tão aproveitado como na Europa, aonde o número dessas construções está crescendo cada vez mais. A norma regente no Brasil para projeto de construções em madeira é a ABNT NBR 7190:1997, que foi estabelecida em 1997 e não sofreu nenhuma modificação desde então. Atualmente a norma está numa fase de revisões. A norma regente na Europa é o EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004.

Os objetivos desse trabalho são de gerar um estudo comparativo a partir da revisão bibliográfica de ambas as normas, a partir dos resultados teóricos calculados e dos resultados experimentais obtidos. Os ensaios experimentais se deram de forma a obter as resistências de corpos de prova de duas espécies de madeira, *Pinus Taeda* (conífera) e *Eucalyptus Grandis* (dicotiledônea), com ligações pregadas em corte duplo. O estudo tem como objetivo resultar em soluções para a otimização do dimensionamento empregado de acordo com a norma brasileira, detectando possíveis conservadorismos. Os resultados obtidos demonstraram diferenças nos procedimentos e metodologias adotados entre as normas assim como grandes diferenças na quantidade de parâmetros analisados. A partir das planilhas confeccionadas de acordo com os procedimentos e equacionamentos definidos, foi possível identificar diferenças nos resultados esperados entre as normas. Com os resultados experimentais, foi possível identificar que uma das normas apresentou resultados mais próximos dos resultados experimentais em todas as situações.

Palavras-chave: Estruturas de madeira; Ligações pregadas em madeira; Resistência de ligações mecânicas em madeira.

ABSTRACT

Dorigon, Giovanna. **Experimental and numeral comparison between the sizing of nailed connections made according to ABNT NBR 7190:1997 and EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004.** 2018. 66p. Term Paper (Bachelor in Civil Engineering) – Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2018.

Wood is a material widely used in construction due to its great structural potential. As Brazil is a country full of the most diversified species, it has one great potential for the development of wooden constructions. However, it is seen that such potential is not so much harnessed as in Europe, where the number of these constructions is growing more and more. The norm that rules in Brazil for the timber construction's projects is ABNT NBR 7190:1997, which was established in 1997 and has not undergone any modification since then. Currently this norm is in one revision phase. The norm governing in Europe is EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004.

The objectives of this paper are to generate a comparative study based on the bibliographic review of both norms, based on the theoretical results calculated and the experimental results obtained. The experimental tests were carried out in order to obtain the test specimen strengths of two species of wood, *Pinus Taeda* (conifer) and *Eucalyptus Grandis* (dicotyledon), with nailed connections in double shear. The study aims to result in solutions for the optimization of the dimensioning employed according to the Brazilian norm, detecting any possible conservatism. The results showed differences in the procedures and methodologies adopted between the norms as well as one large difference in the number of parameters analyzed. From the worksheets made according to the procedures and defined equations, it was possible to identify differences in the expected results between the norms. With the experimental results, it was possible to identify that one of the norms presented results closer to the practical results in all studied situations.

Key-words: Wood structures; Nailed connections to wood; Resistance of mechanical connections in wood.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classes de resistência e valores dos parâmetros associados às coníferas de acordo com a ABNT NBR 7190:1997.	20
Quadro 2: Classes de resistência e valores dos parâmetros associados às dicotiledôneas de acordo com a ABNT NBR 7190:1997.	20
Quadro 3: Classes de resistência e valores dos parâmetros associados às coníferas de acordo com o EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004.	21
Quadro 4: Classes de resistência e valores dos parâmetros associados às dicotiledôneas de acordo com o EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004.	21
Quadro 5: Valores de α_e em função do diâmetro do pino.	28
Quadro 6: Coeficiente k_{ef} em função do espaçamento a	34
Quadro 7: Espaçamento e distância de borda mínima para pregos em função do diâmetro do parafuso e do ângulo em relação às fibras.	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resumo comparativo dos parâmetros utilizados na ABNT NBR 7190:1997 e no EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004.	41
Tabela 2: Resultados do cálculo da força de resistência característica á compressão paralela à direção das fibras para espécie de <i>Pinus Taeda</i>	48
Tabela 3: Resultados do cálculo da força de resistência característica à compressão paralela à direção das fibras para espécie de <i>Eucalyptos Grandis</i>	48
Tabela 4: Resultados do cálculo da força de embutimento para as espécies estudadas de acordo a ABNT NBR 7190:1997 e o EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004 em situações aleatórias.	50
Tabela 5: Resultados da diferença percentual e numérica da força de embutimento de acordo a ABNT NBR 7190:1997 e o EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004 em situações aleatórias.	50
Tabela 6: Resultados esperados para força de resistência da ligação dos corpos de prova da espécie de <i>Pinus Taeda</i>	51
Tabela 7: Resultados esperados para força de resistência da ligação dos corpos de prova da espécie de <i>Eucalyptos Grandis</i>	52
Tabela 8: Resultados obtidos para força de resistência da ligação dos corpos de prova das espécie de <i>Pinus Taeda</i> e <i>Eucalyptos Grandis</i>	53
Tabela 9: Diferença percentual entre os valores resultantes do ensaio de experimental e os valores teóricos obtidos para a espécie de <i>Pinus Taeda</i>	53
Tabela 10: Diferença percentual entre os valores resultantes do ensaio de experimental e os valores teóricos obtidos para a espécie de <i>Eucalyptos Grandis</i> ..	54
Tabela 11: Resultado médio dos valores obtidos no ensaio experimental e dos valores teóricos obtidos com a diferença percentual média para a espécie de <i>Pinus Taeda</i>	54
Tabela 12: Resultado médio dos valores obtidos no ensaio experimental e dos valores teóricos obtidos com a diferença percentual média para a espécie de <i>Eucalyptus Grandis</i>	54

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Exemplo de ligação em entalhe.....	22
Figura 2: Exemplo de ligação com cavilha.	23
Figura 3: Ilustração de conectores do tipo pinos metálicos, denominados de: a) prego anelar; b) prego torcido; c) prego redondo liso; d) prego quadrado; e) parafuso.....	23
Figura 4: Ilustração da seção de corte de ligações feitas com conectores de: a) cola; b) prego; c) pino de madeira ou cavilha; d) parafuso; e) conector de anel; f) entalhe.	24
Figura 5: Pinos em corte simples com ligação pregada.....	26
Figura 6: Pinos em corte duplo com ligação pregada.	29
Figura 7: Exemplo de força inclinada transmitida em conectores e parâmetros associados.....	30
Figura 8: Distâncias t_1 e t_2 em conectores com um plano de corte e possíveis modos de ruptura.....	32
Figura 9: Distâncias t_1 e t_2 em conectores com dois planos de corte e possíveis modos de ruptura.....	32
Figura 10: Modos de ruptura das ligações de estruturas de madeira por: (a) flexão do pino; (b) embutimento; (c) e (d) cisalhamento; (e) e (f) embutimento.....	33
Figura 11: Força inclinada transmitida em conectores.....	34
Figura 12: Força inclinada transmitida em conectores.....	34
Figura 13: Parâmetros para espaçamento e distâncias de borda mínimas para pregos.....	36
Figura 14: Fluxograma das atividades realizadas.....	42
Figura 15: Prensa de compressão marca Emic e modelo DL30000N utilizada nos ensaios.....	44
Figura 16: Vista frontal dos corpos de prova utilizados.....	45
Figura 17: Vista lateral dos corpos de prova utilizados.....	45
Figura 18: Pregão liso modelo comercial 20x42.....	46
Figura 19: Corpo de prova na prensa de ruptura.....	46
Figura 20: Corpos de prova utilizados para determinação do $f_{c,0k}$ da espécie de <i>Pinus Taeda</i> , após o rompimento.....	49

Figura 21: Corpos de prova utilizados para determinação do $f_{c,0k}$ da espécie de <i>Eucalyptus Grandis</i> , após o rompimento	49
Figura 22: Corpo de prova na prensa de ruptura após a ruptura.	52
Gráfico 1: Resultado médio dos valores obtidos no ensaio experimental e dos valores teóricos obtidos para a espécie de <i>Pinus Taeda</i>	55
Gráfico 2: Resultado médio dos valores obtidos no ensaio experimental e dos valores teóricos obtidos para a espécie de <i>Eucalyptus Grandis</i>	55
Gráfico 3: Diferenças percentuais entre os resultados obtidos experimentalmente e os resultados teóricos para as espécies de <i>Pinus Taeda</i> e <i>Eucalyptus Grandis</i>	56
Gráfico 4: Força x tempo para o corpo de prova número 1 da espécie <i>Pinus Taeda</i>	63
Gráfico 5: Força x tempo para o corpo de prova número 2 da espécie <i>Pinus Taeda</i>	63
Gráfico 6: Força x tempo para o corpo de prova número 3 da espécie <i>Pinus Taeda</i>	63
Gráfico 7: Força x tempo para o corpo de prova número 4 da espécie <i>Pinus Taeda</i>	64
Gráfico 8: Força x tempo para o corpo de prova número 5 da espécie <i>Pinus Taeda</i>	64
Gráfico 9: Força x tempo para o corpo de prova número 6 da espécie <i>Pinus Taeda</i>	64
Gráfico 10: Força x tempo para o corpo de prova número 1 da espécie <i>Eucalyptus Grandis</i>	65
Gráfico 11: Força x tempo para o corpo de prova número 2 da espécie <i>Eucalyptus Grandis</i>	65
Gráfico 12: Força x tempo para o corpo de prova número 3 da espécie <i>Eucalyptus Grandis</i>	65
Gráfico 13: Força x tempo para o corpo de prova número 4 da espécie <i>Eucalyptus Grandis</i>	66
Gráfico 14: Força x tempo para o corpo de prova número 5 da espécie <i>Eucalyptus Grandis</i>	66
Gráfico 15: Força x tempo para o corpo de prova número 6 da espécie <i>Eucalyptus Grandis</i>	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

f_{c0} - Resistência à compressão paralela às fibras

f_{c90} - Resistência à compressão perpendicular às fibras

f_{vk} - Resistência característica ao cisalhamento paralelo às fibras

$E_{c,om}$ - Valor médio de módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras

$\rho_{bas,m}$ - Valor de densidade real

$\rho_{aparente}$ - Valor de densidade aparente

$f_{m,t}$ - Resistência característica à flexão

$f_{t,0k}$ - Resistência característica à tração paralela às fibras

$f_{t,90k}$ - Resistência característica à tração perpendicular às fibras

$E_{0,mean}$ - Valor médio do módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras

$E_{90,mean}$ - Valor médio do módulo de elasticidade na compressão perpendicular às fibras

G_{mean} - Valor médio de módulo de cisalhamento

ρ_k - Valor da densidade real

ρ_{mean} - Valor da densidade média

f_y - Resistência de escoamento do aço

γ_s - Coeficiente de minoração da resistência do aço

f_{e0} - Resistência de embutimento na direção paralela às fibras

f_{e90} - Resistência de embutimento na direção normal às fibras

γ_{wc} - Coeficiente de ponderação para estados limites últimos decorrentes das tensões de compressão paralela às fibras

$R_{v,1}$ - Resistência de um pino correspondente a uma única seção de corte

$F_{v,Rk}$ - Resistência característica de cada conector em um plano de corte

$F_{v,E}$ - Força de corte perpendicular às fibras de cada lado do conector

$F_{90,R}$ - Força de resistência ao fendilhamento

f_h - Resistência das madeiras ao embutimento

$M_{y,Rk}$ - Momento característico resistente à flexão do conector

$F_{ax,Rk}$ - Valor característico da capacidade de arrancamento axial associada ao conector

$F_{ax,Rk}$ - Resistência de retirada axial do pino

$f_{ax,k}$ - Força característica de arrancamento axial

$f_{head,k}$ - Resistência característica ao afundamento dos pregos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS	15
1.1.1	Objetivo Geral	15
1.1.2	Objetivos Específicos	15
1.2	JUSTIFICATIVA	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	BREVE HISTÓRICO SOBRE CONSTRUÇÕES EM MADEIRA NO BRASIL..	17
2.2	CARACTERÍSTICAS INTRÍNSECAS DA MADEIRA	18
2.3	CARACTERÍSTICAS DAS ESPÉCIES ESTUDADAS	18
2.4	CLASSES DE RESISTÊNCIA PARA CARACTERIZAÇÃO	19
2.4.1	Classificação das espécies de segundo a ABNT NBR 7190:1997	19
2.4.2	Classificação das espécies segundo o EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004	20
2.5	BREVE HISTÓRICO SOBRE LIGAÇÕES MECÂNICAS PARA MADEIRA	21
2.6	LIGAÇÕES MECÂNICAS DE ACORDO COM A ABNT NBR 7190:1997	24
2.6.1	Ligações Pregadas	24
2.7	LIGAÇÕES MECÂNICAS DE ACORDO COM O EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004	29
2.7.1	Ligações Pregadas	29
2.8	ESTUDOS COMPARATIVOS ENTRE A ABNT NBR 7190:1997 O EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004	38
2.8.1	Diferenças entre as classes de resistências da madeira	38
2.8.2	Diferenças entre os parâmetros calculados	39
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	42
4	RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO	48
5	CONCLUSÕES	59
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
	APÊNDICE A: Séries temporais de investigação experimental	63

1 INTRODUÇÃO

A madeira é um material de uso humano e um recurso natural com diversas propriedades. Sendo muitas vezes sustentável através do reflorestamento, a mesma vem sendo aproveitada através das mais diferentes maneiras desde os mais antigos tempos documentados. Desde as civilizações primitivas até atualmente, é usada como substrato para geração de energia, elaboração de materiais de cozinha, confecção de artesanato, produção de papel, matéria-prima da indústria da marceneira, entre muitas outras utilidades.

No setor da construção civil, observa-se que a madeira é empregada em larga escala há gerações. Dentro de uma residência, escritório e construções em geral, existem inúmeros objetos que podem ser feitos, ou tem em sua composição, madeira. Como por exemplo, pode-se citar: porta, janelas, esquadrias de janelas, pisos, mesas, quadros e armários. Devido às suas propriedades físicas e mecânicas, a madeira também apresenta um grande potencial estrutural, o que garante à mesma a capacidade de servir como principal componente estrutural de toda uma construção.

Na Europa há um visível crescimento da utilização de madeira como componente estrutural ao longo dos últimos anos (STAMATO, 2017). No Brasil tal prática tem uma grande potencialidade para se expandir, em grande parte devido à qualidade da madeira encontrada no país, que quando comparada com a madeira Europeia possui vantagens, como por exemplo, a variedade de cores e texturas, a grande resistência aos ataques biológicos por insetos e fungos e intempéries, e a maior densidade encontrada em diversas espécies (MULLER, 2005). A construção de estruturas em madeira apresenta vantagens muitas vezes desconhecidas pela população. Por ser um material com baixa necessidade de energia para produção, ser leve e possuir alta resistência, a madeira apresenta propriedades elementares de um material estrutural (CALIL, 2005). Ao analisar em termos de desperdício de recursos, a madeira pode ser um meio mais sustentável do que o concreto e o aço. Enquanto a madeira é renovável, cimento, aço, cal, areia e tijolos são materiais que lançam grande quantidade de carbonos na atmosfera durante a sua produção e que prejudicam o meio ambiente (NENRY, 2001).

O estudo das estruturas de madeira para projeto e execução é documentado internacionalmente. Em cada país, os projetos devem obedecer às respectivas normatizações empregadas. No Brasil, a norma vigente é a ABNT NBR 7190:1997 (Associação..., 1997), publicada em 1997, e desde então não sofreu nenhuma alteração. Na União Europeia a norma regente é o EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004 (EUROPEAN..., 2004), que discorre também acerca das estruturas de madeira. Em comparação à norma Europeia, a Brasileira possui algumas diferenças no método para condução de algumas situações, como por exemplo, no cálculo da força de resistência e no conseqüente dimensionamento associado às ligações das peças de madeira, fator que acarreta em muitas diferenças na quantidade de peças utilizadas e conseqüentemente nos custos envolvidos de um projeto.

Atualmente, existe um projeto de revisão para norma Brasileira que vem sendo estudado desde 2000. Em 2011 a revisão foi divulgada sem apresentar nenhum valor normativo. O projeto teve períodos de pausas e até o momento não foi finalizado. Visando possíveis modificações e aperfeiçoamentos, é necessário aliar conceitos teóricos, realizar ensaios experimentais, analisar possibilidades e fazer comparações. Garantir que a segurança e efetividade das equações aplicadas contemplem todas as regiões do país é fundamental. Empregar os conceitos utilizados no EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004 é uma ideia considerável após realização de experimentos, validação dos dados e resultados obtidos e confirmação de que os resultados teóricos estão de acordo com os experimentais.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é o de comparar de forma experimental, física e numérica, o dimensionamento de ligações pregadas de madeira acordo com os atuais critérios da ABNT NBR 7190:1997 e do EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar similaridades e/ou discrepâncias entre os dimensionamentos feitos de acordo com a ABNT NBR 7190:1997 e o EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004 a partir da revisão bibliográfica;
- Confeccionar planilhas de dimensionamento a partir dos equacionamentos propostos pela ABNT NBR 7190:1997 e pelo EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004;
- Definir fatores de correlação entre as normas a partir das planilhas confeccionadas;
- Obter resultados a partir de experimentos físicos com ligações pregadas das espécies *Pinus Taeda* e *Eucalyptus Grandis*.

1.2 JUSTIFICATIVA

O estudo aprofundado das regras e condições atribuídas para ligações pregadas na ABNT NBR 7190:1997 e no EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004 gera a possibilidade de examinar detalhadamente as relações matemáticas, físicas e as condições impostas para o cálculo da resistência e do dimensionamento das ligações em madeira. Através de experimentos laboratoriais é possível obter os resultados experimentais, que tendem a ser muito próximos ao que aconteceria numa estrutural real.

Ao ter conhecimento dos conceitos teóricos empregados nas normas e dos experimentais obtidos por experimentação, é possível gerar confrontos e identificar diferenças entre as duas normas. A relação entre os resultados experimentais e os resultados teóricos demonstra indicadores de precisão e segurança, que podem indicar a ocorrência ou não de superdimensionamento nas ligações entre peças, que por sua vez acarreta em grandes diferenças em termos de projeto, mão de obra empregada, custos e tempo de execução de uma obra.

As análises decorrentes da comparação entre as normas são capazes de resultar em justificativas e propostas para a otimização do dimensionamento empregado de acordo com a norma brasileira, indicando assim se os critérios da NBR são conservadores ou não. O estudo comparativo cria a probabilidade de gerar informações contribuintes para a revisão da norma brasileira, juntamente com a disponibilização de indicadores para potenciais aperfeiçoamentos nos projetos de estruturas em madeira.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 BREVE HISTÓRICO SOBRE CONSTRUÇÕES EM MADEIRA NO BRASIL

A construção em madeira é datada desde os mais antigos tempos documentados. Os primeiros desenhos de detalhes construtivos em madeira foram feitos na china á mais de 1000 anos (PLETZ, 2016). Depois dos chineses, foram os japoneses os responsáveis por difundir as técnicas de construção em madeira ao redor do mundo, sendo que mais tarde, foram os europeus que se destacaram nas inovações produzidas nesse meio. Juntamente com a evolução das habitações, o homem aprimorou suas habilidades para lidar com a madeira, começando com a construção de cavernas até a construção das complexas estruturas modernas (PLETZ, 2016).

A construção em madeira é uma das mais tradicionais metodologias construtivas existentes. Por ser extremamente tradicional, algumas vezes a madeira é vista como um material ultrapassado e muitas vezes é substituída por outras soluções como o concreto e o aço. No entanto, existem diversas possibilidades que a madeira oferece ao setor da construção civil e que poderiam ser melhores consideradas (LIMA, 2018).

São diversas as possibilidades incorporadas ao uso da madeira na construção. Com o material podem ser construídos tapumes, andaimes, escoramentos, coberturas entre outros. Existe também uma série de vantagens competitivas associadas ao uso da madeira como a possibilidade de industrialização, que gera ganhos na produtividade e também no aspecto econômico.

No que diz respeito à versatilidade arquitetônica, a madeira apresenta muitas possibilidades aos profissionais de arquitetura. Esteticamente, as construções desse tipo proporcionam sofisticação e modernidade como fechamentos, por exemplo. Devido a essa e outras qualidades, alguns especialistas têm apostado forte no crescimento da construção de madeira no Brasil para os próximos anos (LIMA, 2018).

O crescimento da construção em madeira no Brasil está diretamente ligado à sustentabilidade, assunto recorrente na última década. Em países como os Estados Unidos, por exemplo, 90% das casas são construídas com madeira. No Brasil, um possível preconceito e falta de conhecimento ainda são barreiras para o

desenvolvimento da sustentabilidade na construção civil. Por ser um país com plena vocação florestal, o Brasil tem um enorme potencial para se difundir nesse meio, mudar paradigmas e aproveitar melhor a madeira encontrada na região (PLETZ, 2016).

2.2 CARACTERÍSTICAS INTRÍNSECAS DA MADEIRA

As categorias de classificação da madeira utilizada na construção diferem entre si de acordo com sua estrutura celular. De fora para dentro, as camadas da seção transversal de um tronco são: casca; alborno ou branco; cerne ou durâmen e medula. Os dois grandes grupos de classificação são as madeiras duras, provenientes das árvores frondosas, as dicotiledôneas (Angiospermas), e madeiras macias, provenientes em geral de árvores coníferas (Gimnospermas) (PFEIL, 2003).

A estrutura interna das madeiras do tipo dicotiledôneas é mais complexa do que as do tipo coníferas. A principal diferença entre os dois tipos está na presença dos elementos de vasos nas dicotiledôneas (BOND, 2002). Esses elementos são responsáveis pela condução de água ao longo da madeira. Os traqueídeos estão presentes nas coníferas para esta função. Em comparação às traqueídeos, os elementos de vaso são, geralmente, considerados mais eficientes na condução de água porque a água flui de modo relativamente livre, de um elemento de vaso a outro através das perfurações (PFEIL, 2003).

Nas coníferas cerca de 90% do volume é composto por fibras longitudinais que tem a função de conduzir a seiva na direção horizontal por tensão superficial e por capilaridade através dos canais formados por cadeias de células. Por terem a extremidade permeável e possuírem perfurações laterais, permitem a passagem de líquidos. Uma vantagem das dicotiledôneas é que a maioria das células de fibras internas são células que oferecem suporte ao tronco (BOND, 2002). As células longitudinais são fechadas nas extremidades, logo a seiva circula pelos vasos ou canais, o que assegura as fibras somente a função de elemento de transporte e faz com que a seiva circule tanto na vertical como na horizontal, garantindo melhor sustentação ao tronco (PFEIL, 2003).

2.3 CARACTERÍSTICAS DAS ESPÉCIES ESTUDADAS

A espécie de *Pinus Taeda* pertence à classe das coníferas, sendo proveniente do Novo Mundo, mais especificamente das florestas temperadas. São encontradas grandes áreas de plantio no Canadá e nos Estados Unidos. Nos ambientes aonde são encontradas, a precipitação média anual varia entre 900 mm e 2200 mm, as temperaturas máximas variam entre 20°C e 25°C e as mínimas entre 4°C e 18°C. Geograficamente, ocorre entre as latitudes de 28° Norte (próximo ao final do continente Africano) e 39° Norte (próximo à Turquia), em altitudes de até 2400 metros. Os fatores que limitam a espécie são os invernos com temperaturas muito baixas, associados à neve, ao gelo e aos estragos provocados pelo frio durante a floração (GONÇALO, 2017).

A espécie de *Eucalyptus Grandis* pertence à classe das dicotiledôneas, é originária do Norte de Nova Gales do Sul e da costa sul de Queensland, na Austrália. É a espécie mais plantada no Brasil, se adapta muito bem em regiões com precipitação entre 1000 e 1750 mm e entre temperaturas médias máximas entre 29° e 32° graus Celsius, e mínimas entre 5 e 6 graus Celsius. Geograficamente é encontrada entre as latitudes de 26° Sul (situado aproximadamente na metade do continente da Oceania) a 32° Sul (próximo aos limites do continente Africano ao sul) e altitudes de até 300 metros (ALZATE, 2004).

2.4 CLASSES DE RESISTÊNCIA PARA CARACTERIZAÇÃO

2.4.1 Classificação das espécies de segundo a ABNT NBR 7190:1997

A ABNT NBR 7190:1997 nomeia as classes de resistência utilizadas para fins de cálculos conforme o valor associado à resistência característica à compressão paralela às fibras, f_{c0k} , da espécie de madeira em questão. Para coníferas existem 3 classes: C20; C25 e C30, com as respectivas resistências à compressão de 20, 25 e 30 MPa. Para dicotiledônias existem 4 classes: C20; C30; C40 e C60 com as respectivas resistências características à compressão de 20, 30, 40 e 60 MPa. A cada tipo e classe está associado um respectivo valor de resistência característica ao cisalhamento paralelo às fibras f_{vk} , um valor médio de módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras $E_{c,0m}$, um valor de densidade real, $\rho_{bas,m}$, e um valor de densidade aparente, $\rho_{aparente}$. Os valores mencionados encontram-se nos quadros 1 e 2.

Coníferas					
(Valores na condição-padrão de referência U = 12%)					
Classes	f_{c0k} (MPa)	f_{vk} (MPa)	$E_{c,om}$ (MPa)	$\rho_{bas,m}$ (kg/m ³)	$\rho_{aparente}$ (kg/m ³)
C20	20	4	3500	400	500
C25	25	5	8500	450	550
C30	30	6	14500	500	600

Quadro 1: Classes de resistência e valores dos parâmetros associados às coníferas de acordo com a ABNT NBR 7190:1997.

Fonte: ABNT NBR 7190:1997.

Dicotiledôneas					
(Valores na condição-padrão de referência U = 12%)					
Classes	f_{c0k} (MPa)	f_{vk} (MPa)	$E_{c,om}$ (MPa)	$\rho_{bas,m}$ (kg/m ³)	$\rho_{aparente}$ (kg/m ³)
C20	20	4	9500	500	600
C30	30	5	14500	650	800
C40	40	6	19500	750	950
C60	60	8	24500	800	1000

Quadro 2: Classes de resistência e valores dos parâmetros associados às dicotiledôneas de acordo com a ABNT NBR 7190:1997.

Fonte: ABNT NBR 7190:1997.

2.4.2 Classificação das espécies segundo o EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004

O EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004 (EUROPEAN..., 2004) nomeia as classes de resistência das madeiras segundo a norma UNI EN 338:2009 (EUROPEAN..., 2009), aonde as classes são atribuídas de acordo com a respectiva resistência característica à flexão, $f_{m,t}$. Assim como na norma brasileira, existe a separação de coníferas e dicotiledôneas. Para as coníferas existem 12 classes: C14; C16; C18; C20; C22; C24; C27; C30; C35; C40; C45 e C50. Para dicotiledôneas são 8 classes: D18; D24; D30; D35; D40; D50; D60 e D70. A cada classe está associada uma respectiva resistência á compressão paralela e perpendicular às fibras, $f_{c,0k}$ e $f_{c,90k}$, tração paralela e perpendicular às fibras, $f_{t,0k}$ e $f_{t,90k}$, resistência ao cisalhamento paralelo às fibras $f_{v,k}$, valor médio do módulo de elasticidade na compressão paralela e perpendicular às fibras, $E_{0,mean}$ e $E_{90,mean}$, valor médio de módulo de cisalhamento, G_{mean} , valor da densidade real, ρ_k , e valor da densidade média, ρ_{mean} . Tais valores encontram-se nos quadros 3 e 4.

Coníferas												
	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
$f_{m,k}$ (MPa)	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
$f_{t,0k}$ (MPa)	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
$f_{t,90k}$ (MPa)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
$f_{c,0k}$ (MPa)	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29
$f_{c,90k}$ (MPa)	2	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2
$f_{v,k}$ (MPa)	3	3,2	3,4	3,6	3,8	4	4	4	4	4	4	4
$E_{0,mean}$ (MPa)	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16
$E_{90,mean}$ (MPa)	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,5	0,53
G_{mean} (MPa)	0,44	0,5	0,56	0,59	0,63	0,69	0,71	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00
ρ_k (kg/m ³)	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
ρ_{mean} (kg/m ³)	350	370	380	390	410	420	480	460	480	500	520	550

Quadro 3: Classes de resistência e valores dos parâmetros associados às coníferas de acordo com o EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004.

Fonte: UNI EN 338:2009.

Dicotiledôneas								
	D18	D24	D30	D35	D40	D50	D60	D70
$f_{m,k}$ (MPa)	18	24	30	35	40	50	60	70
$f_{t,0k}$ (MPa)	11	14	18	21	24	30	36	41
$f_{t,90k}$ (MPa)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
$f_{c,0k}$ (MPa)	18	21	23	25	26	29	32	34
$f_{c,90k}$ (MPa)	7,5	7,8	8,0	8,1	8,3	9,3	10,5	13,5
$f_{v,k}$ (MPa)	3,4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,5	5,0
$E_{0,mean}$ (MPa)	9,5	10	11	12	13	14	17	20
$E_{90,mean}$ (MPa)	0,63	0,67	0,73	0,80	0,86	0,93	1,13	1,33
G_{mean} (MPa)	0,59	0,62	0,69	0,75	0,81	0,88	1,06	1,25
ρ_k (kg/m ³)	475	485	530	540	550	620	700	900
ρ_{mean} (kg/m ³)	570	580	650	650	660	750	840	1080

Quadro 4: Classes de resistência e valores dos parâmetros associados às dicotiledôneas de acordo com o EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004.

Fonte: UNI EN 338:2009.

2.5 BREVE HISTÓRICO SOBRE LIGAÇÕES MECÂNICAS PARA MADEIRA

As peças de madeira bruta têm o seu comprimento limitado pelo tamanho das árvores, meios de transporte, entre outros. As peças de madeira serrada resultante do corte de toras são elementos de madeira maciça fabricadas em comprimentos ainda mais limitados, geralmente de 4 m a 5 m (PFEIL, 2003). Devido a esta limitação se tornou necessário realizar a ligação entre diversas peças de madeira para criação de um componente estrutural capaz de alcançar vãos maiores e resistir a grandes esforços (BAENA, 2015), atendendo assim as necessidades construtivas dos projetos estruturais.

Existem diversos meios para realizar a ligação entre os elementos de madeira e os principais são: colagem, pregos, grampos, braçadeiras, pinos, parafusos, conectores metálicos, tarugos e entalhes (PFEIL, 2003). Dentro desses tipos de ligações a ABNT NBR 7190:1997 (Associação..., 1997) denomina de ligações mecânicas as ligações feitas com pinos metálicos, cavilhas e conectores. Os pinos metálicos são os pregos e parafusos. As cavilhas são pinos de madeira torneados aonde tal madeira deve ser dura da classe C60, ou mole com densidade inferior a 600 kg/m^3 e impregnada com resinas para aumentar sua resistência e ser compatível a classe C60. Os conectores são anéis metálicos ou chapas metálicas com dentes estampados. Os pinos metálicos são os elementos de ligação mais utilizados em estruturas de madeira (CALIL JUNIOR *et al.*, 2003 citado por BAENA, 2015), devido à sua facilidade de implantação e boa resistência garantida. Exemplos de conectores encontram-se ilustrados nas figuras 1, 2, 3 e 4.

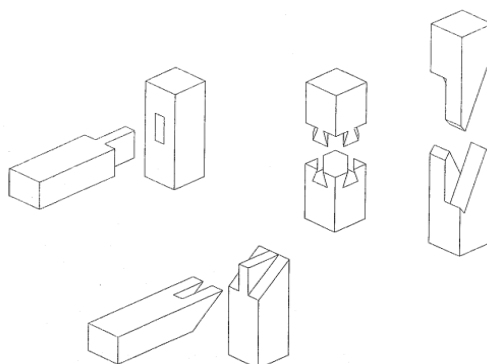


Figura 1: Exemplo de ligação em entalhe.

Fonte: MENDES, 1994.

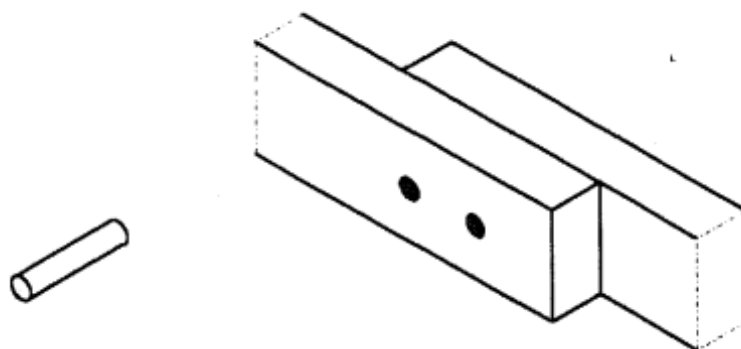


Figura 2: Exemplo de ligação com cavilha.

Fonte: MENDES, 1994.

Nas estruturas de madeira os maiores esforços são concentrados nas regiões das ligações e por esse motivo elas são consideradas os pontos fundamentais para segurança da estrutura (BAENA, 2015). Dado à importância e intensidade das ligações mecânicas no projeto de estruturas de madeira, se torna necessário o conhecimento das resistências e limitações de tais ligações. Uma única ligação projetada incorretamente e que tenha um esforço resistente menor que o esforço atuante, compromete a segurança de toda a estrutura.

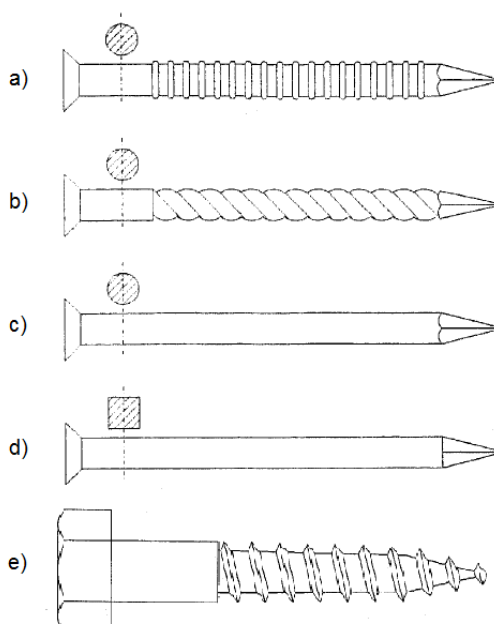


Figura 3: Ilustração de conectores do tipo pinos metálicos, denominados de: a) prego anelar; b) prego torcido; c) prego redondo liso; d) prego quadrado; e) parafuso.

Fonte: PFEIL, 2003 (adaptado).

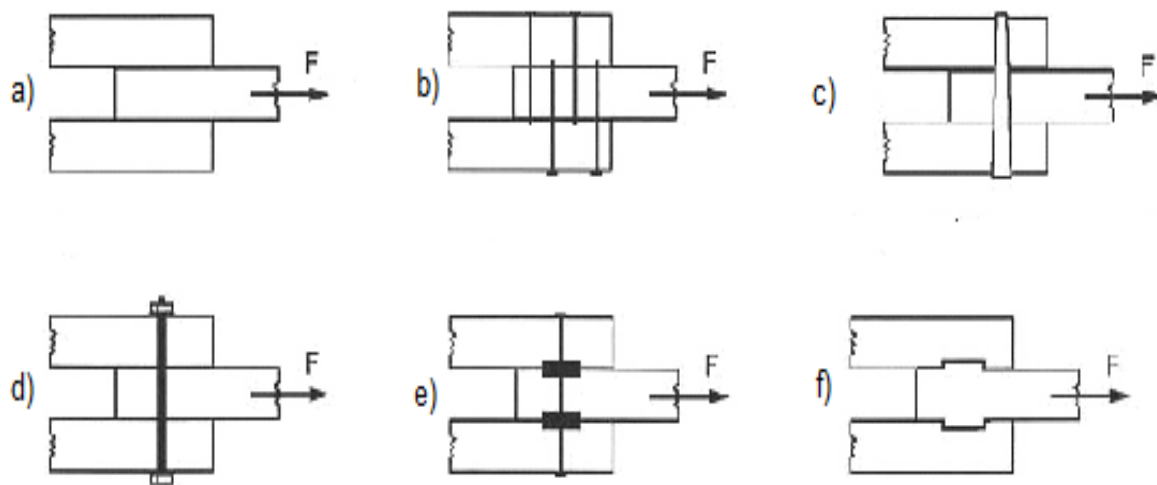


Figura 4: Ilustração da seção de corte de ligações feitas com conectores de: a) cola; b) prego; c) pino de madeira ou cavilha; d) parafuso; e) conector de anel; f) entalhe.

Fonte: MENDES,1994 (adaptado).

2.6 LIGAÇÕES MECÂNICAS DE ACORDO COM A ABNT NBR 7190:1997

2.6.1 Ligações Pregadas

O primeiro fator a ser analisado quanto às ligações mecânicas segundo a ABNT NBR 7190:1997 é se a ligação é rígida ou deformável. A norma define que as ligações feitas com 2 ou 3 pinos são consideradas deformáveis, permitindo o seu emprego exclusivamente em estruturas isostáticas. Em projeto essas ligações são consideradas rígidas, e a estrutura isostática deve apresentar uma contraflecha compensatória de pelo menos $L/100$ aonde L é o valor do vão teórico da estrutura considerada. A norma reforça que nunca devem ser utilizadas ligações com somente 1 pino.

Para ligações pregadas, a norma estabelece que se deva realizar a pré-furação da madeira, e a condição para que tais ligações sejam consideradas rígidas é dada pelas equações (1) e (2).

Para coníferas:

$$d_0 = 0,85 d_{ef} \quad (1)$$

Para dicotiledôneas:

$$d_0 = 0,98 d_{ef} \quad (2)$$

Aonde d_0 = diâmetro de pré-furação e d_{ef} = diâmetro efetivo medido nos pregos a serem usados.

A ABNT NBR 7190:1997 reforça que em estruturas provisórias feitas com madeiras moles de densidade inferior a 600 kg/m³, admite-se o emprego de ligações pregadas sem a pré-furação da madeira, aonde os pregos não podem ter diâmetro d maior que 1/6 da espessura da madeira mais delgada e que o espaçamento mínimo entre eles seja de 10 d , o que permite a penetração dos pregos sem risco de fendilhamento. Fendilhamento é a capacidade que um bloco de madeira contendo uma ranhura tem em resistir à rachadura, quando a ele é submetida uma força para afastar as bordas da ranhura (MORESCHI, 2010).

A resistência dos pinos é dada pela soma das resistências correspondentes às suas diferentes sessões de corte. Em ligações com pinos em linha dispostos paralelamente ao esforço a ser transmitido, a resistência total é igual ao somatório da resistência de cada um dos pinos quando a linha apresenta no máximo 8 pinos alinhados. Quando a ligação apresenta mais de 8 pinos alinhados, os pinos suplementares sofrem um decréscimo e são calculados com apenas 2/3 de resistência individual. O número efetivo de pinos para cálculo da resistência total é dado pela equação (3).

$$n_0 = 8 + \frac{2}{3} (n - 8) \quad (3)$$

Aonde n_0 é o número efetivo de pinos e n é o número total de pinos na ligação em linha.

Para os pregos, os mesmos devem ser feitos com aço de resistência característica de escoamento f_{yk} de pelos menos 600 MPa e ter diâmetro mínimo de 3 mm.

A resistência total de um pino em uma seção de corte entre duas peças de madeira é dada em função da resistência de embutimento f_{ed} das madeiras interligadas, da resistência de escoamento f_{yd} do aço e do diâmetro d do pino metálico e de uma espessura t tomada como a menor das espessuras t_1 e t_2 de penetração do pino em cada um dos elementos de ligação. A força de embutimento associada à madeira está relacionada pressão de contato aplicada pelo pino conectado à parede do furo, que causa um estado múltiplo de tensões nessa região,

tendendo a embutir o pino na madeira. Ainda, as tensões de embutimento podem decorrer da própria cravação do pino no ato da construção ou de uma ação externa, induzida pelo comportamento solidário das peças de madeira. (ALMEIDA, 1987 citado por STAMATO, 2002). As medidas citadas se encontram ilustradas na figura 5.

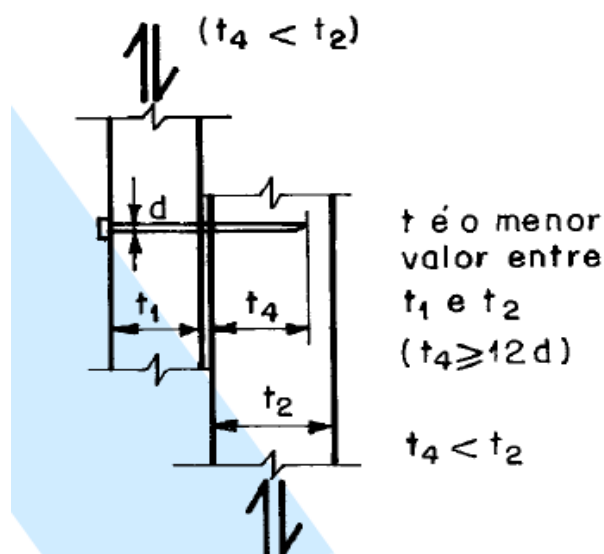


Figura 5: Pinos em corte simples com ligação pregada.

Fonte: ABNT NBR 7190:1997.

Em ligações pregadas, a penetração em qualquer uma das peças ligadas não deve ser menor que a espessura da peça mais delgada, pois a quebra dessa regra fará com que o prego seja considerado não resistente. Com relação ao diâmetro do prego, deve-se obedecer a regra $d \leq t/4$, e nas situações em que $d_0 = d_{ef}$, é admitido $d \leq t/5$.

Em ligações localizadas, a penetração da ponta do prego na peça de madeira mais distante de sua cabeça deve ser de pelo menos $12d$ ou igual à espessura dessa peça. Em ligações corridas, esta penetração pode ser limitada ao valor de t_1 .

A resistência de um pino metálico em uma única seção de corte é determinada em função do parâmetro β , que correlaciona a menor espessura de penetração da peça com o diâmetro do pino, e é definido pela equação (4).

$$\beta = \frac{t}{d} \quad (4)$$

Aonde t é a espessura convencional da madeira e d o diâmetro do pino. O parâmetro β apresenta um valor limite diretamente proporcional à raiz quadrada da resistência de escoamento do aço e inversamente proporcional à raiz quadrada da resistência de embutimento da madeira. Logo, quanto maior resistência do aço e menor a resistência de embutimento da madeira, maior é o valor limite, β_{lim} , definido pela equação (5).

$$\beta_{lim} = 1,25 \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}} \quad (5)$$

Aonde f_{yd} é a resistência de cálculo ao escoamento do pino e f_{ed} é a resistência de cálculo ao embutimento.

A resistência de cálculo ao escoamento do pino é definida pela equação (6).

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \quad (6)$$

Aonde f_{yk} é a resistência característica do aço ao escoamento e γ_s é o coeficiente de minoração da resistência do aço que possui o valor de 1,1.

A resistência de cálculo ao embutimento possui dois valores: $f_{e0,d}$ quando a força embutimento ocorre na direção paralela às fibras e $f_{e90,d}$ quando ocorre na direção normal. Tais valores são definidos nas equações (7) e (8).

$$f_{e0,k} = f_{c0,k} \quad (7)$$

$$f_{e90,k} = 0,25 f_{e0,k} \alpha_e \quad (8)$$

Aonde α_e é um coeficiente de redução associado ao diâmetro do pino, apresentado no quadro 5 e $f_{c0,k}$ é o valor característico da resistência à compressão paralela às fibras, que também é definido em seu valor de cálculo $f_{c0,d}$, exposto na equação (9).

$$f_{c0,d} = k_{mod} \frac{f_{c0,k}}{\gamma_{wc}} \quad (9)$$

Aonde k_{mod} é definido como coeficiente de modificação e varia de acordo com a duração do carregamento e as condições do material e do ambiente, $f_{c0,k}$ é o valor da resistência característica de compressão paralelas às fibras e γ_{wc} corresponde ao coeficiente de ponderação para estados limites últimos decorrentes das tensões de compressão paralela às fibras e possui o valor de 1,4.

Diâmetro do pino (cm)	$\leq 0,62$	0,95	1,25	1,6	1,9	2,2
Coeficiente α_e	2,5	1,95	1,68	1,52	1,41	1,33
Diâmetro do pino (cm)	2,5	3,1	3,8	4,4	5,0	$\geq 7,5$
Coeficiente α_e	1,27	1,19	1,14	1,1	1,07	1,0

Quadro 5: Valores de α_e em função do diâmetro do pino.

Fonte: ABNT NBR 7190:1997.

O cálculo da resistência de projeto $R_{vd,1}$ de um pino, correspondente a uma única seção de corte obedece as equações (10), (11), (12) e (13).

Quando o parâmetro β for menor ou igual ao parâmetro β_{lim} significa que a resistência da ligação é governada pelo embutimento da madeira, pois o rompimento da mesma será dado pelo embutimento do pino na madeira, logo o dimensionamento é feito de acordo com a força de embutimento da madeira.

$$\beta \leq \beta_{lim} \quad (10)$$

$$R_{vd,1} = 0,40 \frac{t^2}{\beta} f_{ed} \quad (11)$$

Quando β é maior que β_{lim} a resistência é governada pelas características do pino metálico, o rompimento é dado pela flexão do pino, e a força de resistência dimensionada deve ser dimensionada para ocorrência de flexão do pino.

$$\beta > \beta_{lim} \quad (12)$$

$$R_{vd,1} = 0,625 \frac{d^2}{\beta_{lim}} f_{yd} \quad (13)$$

Para seções em corte duplo, os critérios aplicados são os mesmos dos anteriores para cálculo das resistências correspondentes a cada uma das seções de corte, considerando como t o menor dos valores encontrados entre t_1 e $t_2/2$ em uma das seções e entre $t_2/2$ e t_3 na outra, como está demonstrado na figura 6.

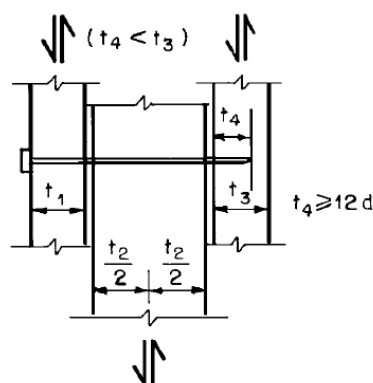


Figura 6: Pinos em corte duplo com ligação pregada.

Fonte: ABNT NBR 7190:1997.

Para obtenção do valor da resistência característica, $R_{vk,1}$ da ligação, exclui-se a aplicação do parâmetro k_{mod} na multiplicação de $f_{c0,k}$ e também a divisão pelos parâmetros γ_{wc} em $f_{c0,k}$ e γ_s em f_{yk} , sendo a expressão resultante apresentada nas equações 14 e 15.

$$R_{vk,1} = 0,40 \frac{t^2}{\beta} f_{ek} \quad (14)$$

$$R_{vk,1} = 0,625 \frac{d^2}{\beta_{lim}} f_{yk} \quad (15)$$

2.7 LIGAÇÕES MECÂNICAS DE ACORDO COM O EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004

2.7.1 Ligações Pregadas

Para ligações metálicas pregadas estabelecidas entre elementos de madeira, o EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004 estabelece que para uma linha de conectores paralelo às fibras da madeira, a capacidade de carga paralela à esta linha, $F_{v,ef,Rk}$, é definida pela equação (16).

$$F_{v,ef,Rk} = n_{ef} F_{v,Rk} \quad (16)$$

Aonde n_{ef} é o número efetivo de conectores na linha paralela às fibras e $F_{v,Rk}$ é a resistência característica de cada conector.

Quando existe uma força de conexão com ação inclinada às fibras, a componente da força perpendicular às fibras, $F_{ed} \sin \alpha$, deve ser considerada e a condição das equações (17) e (18) devem ser satisfeitas.

$$F_{v,Ed} \leq F_{90,Rd} \quad (17)$$

E:

$$F_{v,Ed} = \max \left\{ \begin{array}{l} F_{v,Ed.1} \\ F_{v,Ed.2} \end{array} \right. \quad (18)$$

Aonde $F_{v,Ed.1}$ e $F_{v,Ed.2}$ são as resultantes da força de corte perpendicular às fibras de cada lado do conector e $F_{90,Rd}$ é a resistência á separação das fibras da madeira, definida como força de fendilhamento, determinada a partir da força característica de resistência ao fendilhamento $F_{90,Rk}$, definida pelas equações (19) e (20).

$$F_{90,Rk} = 14bw \sqrt{\frac{h_e}{\left(1 - \frac{h_e}{h}\right)}} \quad (19)$$

E:

$$w = \begin{cases} \max \left\{ \left(\frac{w_{pl}}{100}\right)^{0,35} \\ 1 \right\} \end{cases} \quad (20)$$

Aonde $F_{90,Rk}$ é a capacidade característica de resistência ao fendilhamento, w é um fator de modificação, h_e é a distância da borda carregada até o centro do conector mais distante ou a distância até a chapa de dentes estampados, h é a altura no membro de madeira, b é a espessura do membro de madeira e w_{pl} é a largura da chapa de dentes estampados paralelo às fibras. Tais medidas podem ser visualizadas na figura 7.

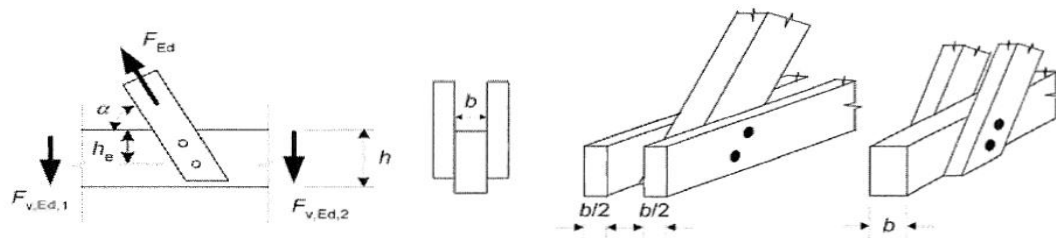


Figura 7: Exemplo de força inclinada transmitida em conectores e parâmetros associados.

Fonte: EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004.

De acordo com o EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004 a força característica de resistência de um único conector $F_{v,Rk}$ em apenas um plano de cisalhamento deve ser dado pelo valor mínimo encontrado segundo as equações (21) à (26).

$$f_{h,1,k}t_1d \quad (21)$$

$$f_{h,2,k}t_2d \quad (22)$$

$$\frac{f_{h,1,k}t_1d}{1+\beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1}\right)^2 + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1}\right)^2 \right]} - \beta \left(1 + \left(\frac{t_2}{t_1}\right) \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (23)$$

$$1,05 \frac{f_{h,1,k}t_1d}{2+\beta} \left[\sqrt{2\beta + (1+\beta) \frac{4\beta(2+\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k}dt_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (24)$$

$$1,05 \frac{f_{h,1,k}t_2d}{1+2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1+\beta) \frac{4\beta(1+2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k}dt_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (25)$$

$$1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{2M_{y,Rk}f_{h,1,k}d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (26)$$

Quando houver dois planos de cisalhamento, o valor da resistência $F_{v,Rk}$ será dado pelo mínimo valor encontrado das equações (27) à (31).

$$f_{h,1,k}t_1d \quad (27)$$

$$0,5f_{h,2,k}t_2d \quad (28)$$

$$1,05 \frac{f_{h,1,k}t_1d}{2+\beta} \left[\sqrt{2\beta + (1+\beta) \frac{4\beta(2+\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k}dt_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (29)$$

$$1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{2M_{y,Rk}f_{h,1,k}d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (30)$$

E:

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} \quad (31)$$

Aonde $f_{h,1,k}$ e $f_{h,2,k}$ são os valores característicos da resistência das madeiras ao embutimento, t_1 é o valor da espessura de penetração do pino na primeira seção de corte ou a espessura de uma das peças de ligação com uma seção de corte, t_2 é o valor da espessura de penetração do pino na segunda seção de corte ou a espessura da peça central em dupla ligação, d é o diâmetro do pino, $M_{y,Rk}$ é o momento característico resistente à flexão do conector, β é a relação entre as resistências ao embutimento das peças de madeira associadas e $F_{ax,Rk}$ é o valor característico da capacidade de arrancamento axial associada ao conector. As

medidas t_1 e t_2 assim como a ilustração de alguns dos possíveis modos de ruptura encontram-se ilustradas na figura 8 e 9.

O termo $F_{ax,Rk}/4$ no lado direito das equações (23) à (26) e (29) à (30) é a contribuição da resistência de retirada axial do pino, também chamado de contribuição devido ao efeito de corda. O primeiro termo à esquerda dessas equações é denominado capacidade de carga de acordo com a teoria de Johansen. A contribuição do efeito de corda é limitada à determinada porcentagem do valor da resistência segundo a teoria de Johansen. Para pregos redondos essa porcentagem é de 15%, para quadrados e ranhurados é de 50% e para outros tipos de pregos é de 50%. Se o fator $F_{ax,Rk}$ é desconhecido, o efeito de corda é considerado zero.

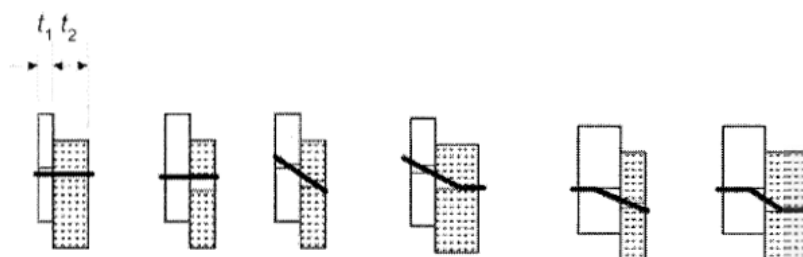


Figura 8: Distâncias t_1 e t_2 em conectores com um plano de corte e possíveis modos de ruptura.

Fonte: EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004 (adaptado).

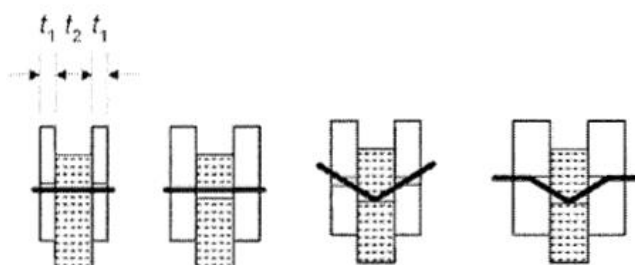


Figura 9: Distâncias t_1 e t_2 em conectores com dois planos de corte e possíveis modos de ruptura.

Fonte: EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004 (adaptado).

Outros exemplos de modos de rupturas numa ligação com pinos encontram-se ilustrados na figura 10.

Para pregos, o EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004 recomenda, mas não obriga, que as ligações devam ser pré-furadas quando a densidade características da madeira for maior do que 500 kg/m^3 e o diâmetro do prego exceder 6 mm. Para pregos quadrados ou ranhurados o diâmetro dos mesmos deve ser tomado como o valor da dimensão lateral.

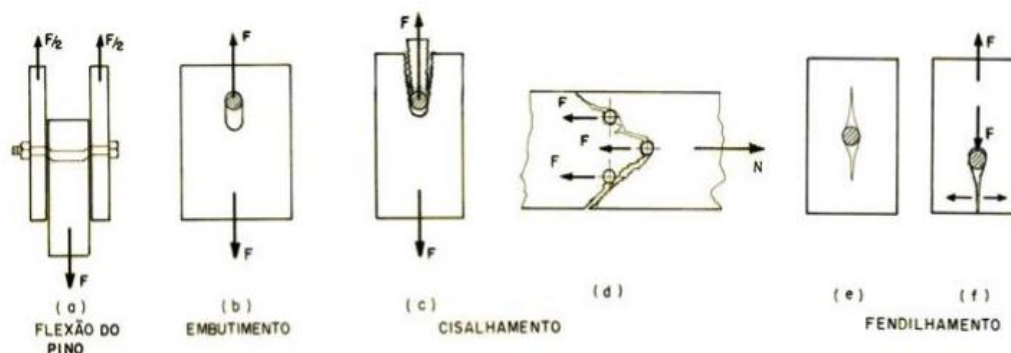


Figura 10: Modos de ruptura das ligações de estruturas de madeira por: (a) flexão do pino; (b) embutimento; (c) e (d) cisalhamento; (e) e (f) fendilhamento.

Fonte: MENDES (1994) citado por ALMEIDA (1990).

Para pregos lisos feitos com aço de resistência última mínima à tração de 600 MPa, o momento característico resistente ao escoamento do prego $M_{y,Rk}$ é dado pela equação (32).

$$M_{y,Rk} = \begin{cases} 0,3f_u d^{2,6} & \text{para pregos redondos} \\ 0,45f_u d^{2,6} & \text{para pregos quadrados ou ranhurados} \end{cases} \quad (32)$$

Aonde f_u é a resistência última à tração do aço e d é o diâmetro do prego.

Para pregos com diâmetro máximo de 8 mm, a resistência característica ao embutimento $f_{h,k}$ é definida pelas equações (33), (34) e (35).

$$f_{h0,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k \text{ para buracos com pré-furo} \quad (33)$$

$$f_{h\alpha,k} = \frac{f_{h0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (34)$$

Aonde:

$$k_{90} = \begin{cases} 1,35 + 0,015 d & \text{para madeira macia (de gimnospermas)} \\ 1,30 + 0,015 d & \text{para madeira LVL} \\ 0,90 + 0,015 d & \text{para dicotiledôneas} \end{cases} \quad (35)$$

Aonde ρ_k é a densidade característica da madeira e d é o diâmetro do prego, $f_{h\alpha,k}$ é a resistência de embutimento na direção do ângulo α com as fibras, $f_{h0,k}$ é a resistência de embutimento na direção paralela às fibras.

No caso de ligações pregadas, as distâncias t_1 e t_2 estão apresentadas nas figuras 11 e 12.

Na figura 11 estão apresentados os casos de ligação com um plano de corte e dois planos de corte. Na figura 12 estão apresentados o caso de ligações com três membros, aonde em ligações com pregos, a diferença $t - t_2$ dever ser maior que 4 vezes o diâmetro do prego.

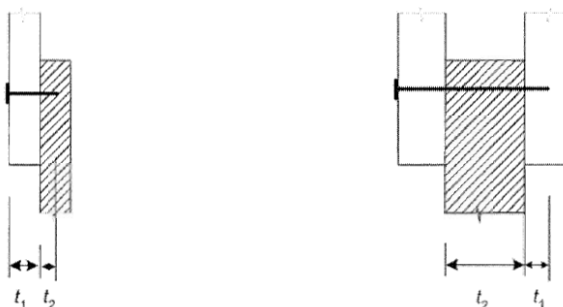


Figura 11: Força inclinada transmitida em conectores.

Fonte: EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004.

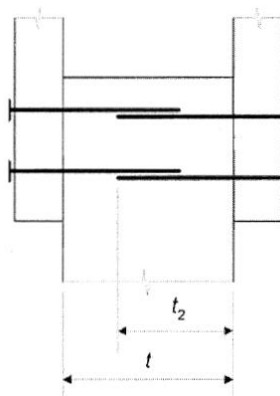


Figura 12: Força inclinada transmitida em conectores.

Fonte: EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004.

Para uma linha de pregos em paralelo, o número de pregos efetivo n_{ef} para cálculo da resistência de um prego é definido pela equação (36).

$$n_{ef} = n^{k_{ef}} \quad (36)$$

Aonde n é o número real de pregos na linha e k_{ef} é um fator de correção em função do espaçamento a entre os pregos, o diâmetro d dos pregos e ao fato de o furo ter sido pré-furado ou não. Os valores se encontram no quadro 6.

Espaçamento a	k_{ef}	
	Sem pré-furação	Com pré-furação
$a \geq 14 d$	1,0	1,0
$a \geq 10 d$	0,85	0,85
$a \geq 7 d$	0,7	0,7
$a \geq 4 d$	-	0,5

*Para espaçamentos intermediários o coeficiente pode ser interpolado.

Quadro 6: Coeficiente k_{ef} em função do espaçamento a .

Fonte: EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004.

Para ligações entre peças de madeira, o número mínimo de pregos numa ligação é de dois pregos. Para pregos lisos a penetração mínima na madeira é de 8 vezes o diâmetro do prego. Para pregos não lisos, definidos de acordo com o EN 14592 (EUROPEAN..., 2008), essa distância é de no mínimo 6 vezes o diâmetro.

Pregos localizados numa região de final das fibras não devem ser capazes de transmitir esforços laterais. Para esta situação, define-se que em estruturas secundárias podem-se usar pregos lisos e os valores de capacidade lateral devem ser de 1/3 dos valores encontrados para os pregos localizados no ângulo correto com as fibras. Para pregos não lisos deve-se considerar 1/3 do valor encontrado na utilização de pregos lisos e no ângulo certo, sendo que esses pregos devem respeitar as condições: Possuir somente carregamento lateral; Existem pelo menos 3 pregos por conexão; A distância de penetração é de no mínimo 12 vezes o diâmetro do prego; A conexão não está exposta à classe 3 de serviço e os espaçamentos e distância de bordas mínimas são verificados.

Em ligações pregadas, a madeira deve ser pré-furada quando a espessura dos membros de madeira for menor do que o parâmetro t definido pela equação (37), aonde t é a menor espessura de madeira para evitar a pré-furação, ρ_k é a densidade característica da madeira e d é o diâmetro do prego.

$$t = \max \left\{ \begin{array}{l} 7d \\ (13d - 30) \frac{\rho_k}{400} \end{array} \right. \quad (37)$$

Madeiras de espécies mais sensíveis ao fendilhamento devem ser pré-furadas quando o parâmetro t for menor do que os valores obtidos na equação (38).

$$t = \max \left\{ \begin{array}{l} 14d \\ (13d - 30) \frac{\rho_k}{200} \end{array} \right. \quad (38)$$

A equação (38) acima deve ser substituída pela equação (37) quando as condições das equações (39) e (40) forem satisfeitas.

$$\alpha_4 \geq 10 d \text{ para } \rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3 \quad (39)$$

$$\alpha_4 \geq 14 d \text{ para } 420 \text{ kg/m}^3 \leq \rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3 \quad (40)$$

O parâmetro α_4 encontra-se ilustrado na figura 13 e é explicado no quadro 7. Quanto à resistência axial, para pregos que não são lisos, a força característica de resistência ao arrancamento axial é dada pelo mínimo valor obtido na equação (41).

$$F_{ax,Rk} = \begin{cases} f_{ax,k} d t_{pen} \\ f_{head,k} d_h^2 \end{cases} \quad (41)$$

O EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004 estabelece um mínimo espaçamento e distância de borda para ligações pregadas em função do diâmetro do parafuso e do ângulo formado com as fibras, apresentado no quadro 7, de acordo com a figura 13.

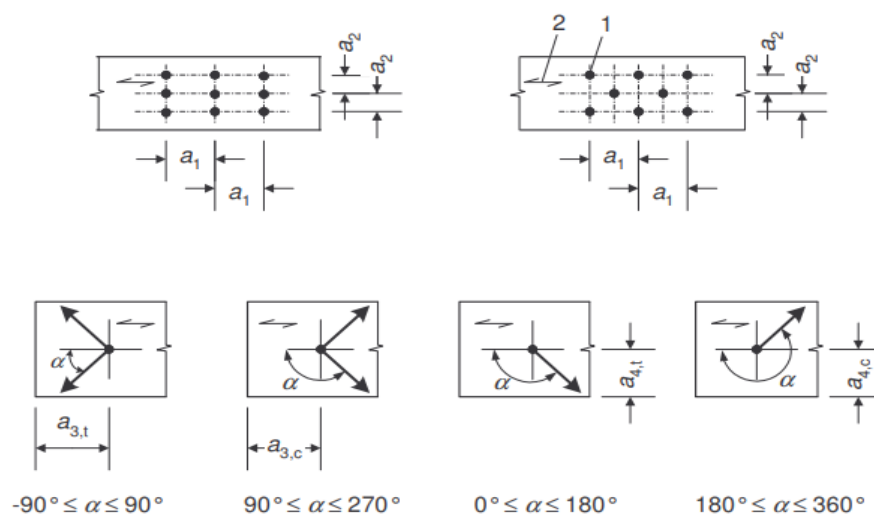


Figura 13: Parâmetros para espaçamento e distâncias de borda mínimas para pregos.

Fonte: EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004.

Espaçamento ou distância conforme figura 13	Ângulo α	Espaçamento e distância de borda mínima		
		Sem pré-furação		Com pré-furação
		$\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$	$420 \text{ kg/m}^3 < \rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3$	
Espaçamento a_1 (paralelo às fibras)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$d < 5\text{mm}$: $(5 + 5 \cos \alpha) d$ $d \geq 5\text{mm}$: $(5 + 7 \cos \alpha) d$	$(7 + 8 \cos \alpha) d$	$(4 + \cos \alpha) d$
Espaçamento a_2 (perpendicular às fibras)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5d$	$7d$	$(3 + \sin \alpha) d$
Distância $a_{3,t}$ (até parte carregada)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$(10 + 5 \cos \alpha) d$	$(15 + 5 \cos \alpha) d$	$(7 + 5 \cos \alpha) d$
Distância $a_{3,c}$ (até parte descarregada)	$90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$10d$	$15d$	$7d$

Quadro 7: Espaçamento e distância de borda mínima para pregos em função do diâmetro do parafuso e do ângulo em relação às fibras.

(continua)

Espaçamento ou distância conforme figura 13	Ângulo α	Espaçamento e distância de borda mínima		
		Sem pré-furação		Com pré-furação
		$\rho_k \leq 420 \text{ kg/ m}^3$	$420 \text{ kg/m}^3 < \rho_k \leq 500 \text{ kg/ m}^3$	
Distância $a_{4,t}$ (até parte carregada)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$d < 5\text{mm}$: $(5 + 2 \sin\alpha) d$ $d \geq 5\text{mm}$: $(5 + 5 \sin\alpha) d$	$d < 5\text{mm}$: $(7 + 2 \sin\alpha) d$ $d \geq 5\text{mm}$: $(7 + 5 \sin\alpha) d$	$d < 5\text{mm}$: $(3 + 2 \sin\alpha) d$ $d \geq 5\text{mm}$: $(3 + 4 \sin\alpha) d$
Distância $a_{4,c}$ (até parte descarregada)	$180^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$5d$	$7d$	$3d$

Quadro 7: Espaçamento e distância de borda mínima para pregos em função do diâmetro do parafuso e do ângulo em relação às fibras.

(conclusão)

Fonte: EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004.

Para pregos lisos, resistência axial $F_{ax,Rk}$ é dada pela equação (42).

$$F_{ax,Rk} = \begin{cases} f_{ax,k} d t_{pen} \\ f_{ax,k} d t + f_{head,k} d_h^2 \end{cases} \quad (42)$$

Aonde $f_{ax,k}$ é definida como força característica de arrancamento axial, $f_{head,k}$ é o valor característico de resistência ao afundamento dos pregos, t é a espessura do membro de madeira, d é o diâmetro do prego, t_{pen} é o valor da penetração lateral no ponto ou o comprimento da parte rosqueada, excluindo o comprimento do ponto, no membro lateral do ponto e d_h é o diâmetro da cabeça do prego.

Para pregos lisos com penetração lateral de no mínimo 12 vezes seu diâmetro, as forças $f_{ax,k}$ e $f_{head,k}$ são definidas pelas equações (43) e (44) respectivamente.

$$f_{ax,k} = 20 \times 10^{-6} \rho_k^2 \quad (43)$$

$$f_{head,k} = 70 \times 10^{-6} \rho_k^2 \quad (44)$$

Aonde ρ_k é a resistência característica da madeira.

Na situação de carregamento axial com pregos lisos, t_{pen} deve ser maior que 8 vezes o diâmetro do prego e nas situações que é menor que 12 vezes o diâmetro,

$F_{ax,Rk}$ deve ser multiplicada por $(t_{pen}/4d - 2)$. Para pregos rosqueados, t_{pen} deve ser maior que $6d$ e quando menor que $8d$, $F_{ax,Rk}$ deve ser multiplicada por $(t_{pen}/2d - 3)$. Para madeira estrutural instalada sobre ou perto da região de saturação das fibras, os valores de $f_{ax,k}$ e $f_{head,k}$ devem ser multiplicados por $2/3$.

Para pregos submetidos á esforços laterais e axiais, a condição das equações (45) e (46) devem ser satisfeitas.

Para pregos lisos:

$$\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} + \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1 \quad (45)$$

Para pregos não lisos:

$$\left(\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^2 \leq 1 \quad (46)$$

Aonde, $F_{ax,Rd}$ e $F_{v,Rd}$ são respectivamente as resistências de projeto ao carregamento axial e lateral do prego.

A força característica $F_{v,Rk}$ encontrada após os cálculos das equações (21) a (26) ou (27) a (31), deve ser transformado em força de projeto $F_{v,Rd}$ através da equação (47).

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} \quad (47)$$

Aonde k_{mod} é um coeficiente de modificação que varia de acordo com o tipo de material, a duração do carregamento e a classe de serviço, e γ_M corresponde a um fator de ponderação para um determinado material e propriedade, sendo recomendado o valor de 1,3 para as conexões em madeira.

2.8 ESTUDOS COMPARATIVOS ENTRE A ABNT NBR 7190:1997 O EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004

2.8.1 Diferenças entre as classes de resistências da madeira

Segundo os critérios da ABNT NBR 7190:1997, observa-se que para as mesmas classes de resistência, ou seja, mesmo valores de f_{c0k} , existem diferenças nos valores de f_{vk} , $E_{c,om}$, $\rho_{bas,m}$ e $\rho_{aparente}$ entre coníferas e dicotiledôneas. Seguindo os critérios de cálculos da norma e utilizando o mesmo valor de

resistências das madeiras para ambas as espécies, o valor da resistência da ligação será o mesmo. No entanto observa-se que devido às propriedades celulares e intrínsecas, as dicotiledôneas desempenham melhor a função de componente estrutural do que as coníferas.

Observa-se que o EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004 ao contrário da ABNT NBR 7190:1997 classifica as espécies segundo sua resistência à flexão, $f_{m,t}$ e não à resistência à compressão paralela às fibras, $f_{c,0k}$. Uma conífera com resistência $f_{m,t}$, comparado com uma dicotiledônea da mesma resistência, apresenta os mesmos valores de $f_{c,0k}$, $f_{c,0k}$, $f_{t,0k}$ e $f_{v,k}$, e valores inferiores de ρ_k , ρ_{mean} e $E_{90,mean}$, sendo assim, muito parecido ao que acontece na norma brasileira. Contudo, as demais resistências $f_{t,90k}$, e $f_{c,90k}$, são maiores nas dicotiledôneas e os parâmetros $E_{0,mean}$ e G_{mean} , maiores na maioria das classes das coníferas.

Outra diferença apresentada é a quantidade de classes apresentadas no UNI EN 338:2009, que serve de referência para o EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004. Enquanto a norma brasileira divide as coníferas em 3 classes, o UNI EN 338:2009 divide em 12. Nas dicotiledônias esses números são 4 e 8 respectivamente. Uma maior quantidade de classes significa estar mais apto de enquadrar a madeira utilizada em uma classe mais próxima do valor real de sua resistência. Com isso, evita-se superdimensionamento, já que a resistência da espécie é sempre enquadrada na primeira classe existente com o valor de resistência característica menor do que o valor dessa resistência.

2.8.2 Diferenças entre os parâmetros calculados

O EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004 se apresenta muito mais extenso na definição dos parâmetros e forças a serem calculadas. Existem diversos parâmetros definidos no EUROCODE que não são apresentados na NBR, como por exemplo: $f_{ax,k}$, definida como força característica de arrancamento axial; $f_{head,k}$, valor característico de resistência ao afundamento dos pregos; $F_{ax,Rk}$, força característica de resistência ao arrancamento axial; $M_{y,Rk}$, momento característico resistente ao escoamento do prego, entre outros. E ainda, existem diversos fatores como o espaçamento mínimo, distância até a borda, geometria da peça de ligação (prego quadrado ou redondo, liso ou não liso, por exemplo), entre outros, que são

extensamente avaliados no EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004, impondo muito mais exigências e restrições em comparação à ABNT NBR 7190:1997. Isso implica que o EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004 é muito mais específico na caracterização da ligação de utilização.

Destaca-se que o parâmetro $F_{ax,Rk}$, força característica de resistência ao arrancamento axial, não existe na ABNT NBR 7190:1997. No entanto, dependendo das condições geométricas da ligação, o mesmo deve ser comprovado experimentalmente para que seja considerado nos cálculos. Logo, em algumas situações, caso não exista a possibilidade de verificação, poderá ser omitido das equações do EUROCODE.

Outra análise interessante entre as normas no que diz respeito ao cálculo da resistência em pinos metálicos, é que na NBR a maioria dos cálculos está em função de alguma força característica da classe da madeira em questão, como por exemplo, no cálculo da força de embutimento, aonde o valor característico da força resistente à compressão paralela às fibras é um dos valores que determina o valor da força de embutimento. No EUROCODE, a maioria dos cálculos envolve a densidade característica da madeira, obtida nos quadros 3 e 4 e ao contrário da NBR, em nenhum momento as equações do EUROCODE envolvem alguma força característica da classe de resistência da madeira em questão. A diferença disso consiste no fato de que coníferas e dicotiledôneas apresentam, em ambas as normas, valores iguais de forças características para as respectivas classes, e valores diferentes de densidade, sendo que a densidade é sempre maior nas dicotiledôneas.

Na tabela 1 está presente um resumo comparativo dos parâmetros utilizados pelo EUROCODE 5 e pela NBR 7190 para cálculo da resistência de ligações pregadas em madeira. Nela encontram-se a correlação dos parâmetros que são utilizados em ambas as normas e também dos parâmetros que não possuem correspondência entre si. Na tabela estão presentes as equações, figuras ou quadros aonde esses parâmetros são encontrados, como são calculados ou como devem ser visualizados, evidenciando as principais diferenças entre a ABNT NBR 7190:1997 e o EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004.

Tabela 1: Resumo comparativo dos parâmetros utilizados na ABNT NBR 7190:1997 e no EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004.

Parâmetro	Nomenclatura		Formula ou Ilustração	
	NBR 7190	EUROCODE 5	NBR 7190	EUROCODE 5
Força de embutimento	f_{ek}	f_{hk}	Equações 7 e 8	Equações 33 e 34
Capacidade de carga de um conector	$R_{vk,1}$	$F_{v,Rk}$	Equações 14 e 15	Equações 21 à 31
Momento característico resistente à flexão do conector	Não apresenta	$M_{y,Rk}$	Não apresenta	Equação 32
Força característica da capacidade de arrancamento axial do conector	Não apresenta	$F_{ax,Rk}$	Não apresenta	Equações 41 e 42
Força característica de arrancamento axial	Não apresenta	$f_{ax,k}$	Não apresenta	Equação 43
Valor característico de resistência ao afundamento do conector	Não apresenta	$f_{head,k}$	Não apresenta	Equação 44
Número efetivo de conectores para cálculo da resistência	n_0	n_{ef}	Equação 3	Equação 36 com quadro 6
Espessura de penetração do pino na primeira seção de corte	t_1	t_1	Figura 5	Figura 11
Espessura de penetração do pino na segunda seção de corte	t_2	t_2	Figura 5	Figura 11

Fonte: Autora (2018).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para desenvolvimento desse trabalho foram realizadas as etapas descritas no fluxograma da figura 14.

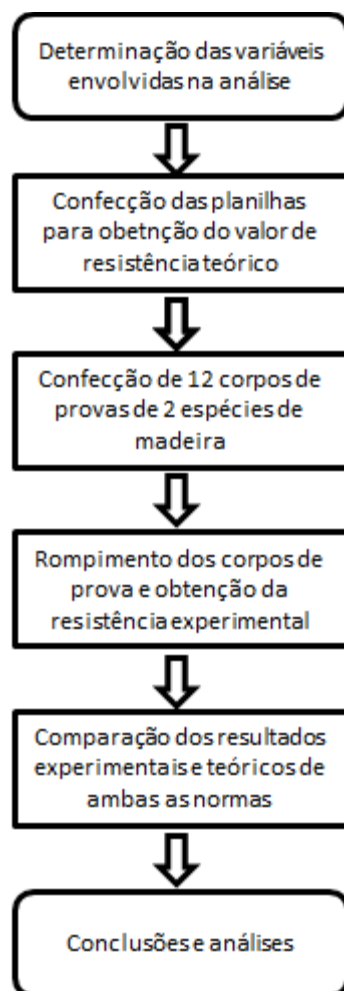


Figura 14: Fluxograma das atividades realizadas.

Fonte: (2018).

A comparação teórica dos resultados obtidos nas normas foi feita através da confecção de planilhas de cálculo para a obtenção do valor resistência da ligação metálica, após a definição das dimensões do corpo de prova. As planilhas forneceram o valor teórico de resistência conforme a aplicação das equações regentes de cada norma.

A comparação física dos resultados foi dada a partir da confecção de corpos de prova e conseqüente rompimento dos mesmos para obtenção da resistência

experimental. Os corpos de prova foram confeccionados de forma á incluir em sua composição tanto coníferas como dicotiledôneas.

Para a caracterização da resistência à compressão das duas espécies de madeira utilizadas, seguiu-se a orientação da ABNT NBR 7190:1997, que permite empregar 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, ensaiando-se pelo menos 12 corpos- de-prova de cada espécie. Os corpos de prova para caraterização da resistência à compressão tinham dimensões de 2,5 x 2,5 x 7,5 cm. Os valores característicos das propriedades da madeira devem sem estimados pela equação 48.

$$x_{wk} = \left(2 \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_{\frac{n}{2}-1}}{\frac{n}{2} - 1} - x_{\frac{n}{2}} \right) 1,1 \quad (48)$$

Aonde x_{wk} é o valor característico da força avaliada e n é o número de corpos de prova ensaiados. Os resultados devem se colocados em ordem crescente $x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n$, não se tomando para x_{wk} valor inferior a x_1 , nem 0,7 do valor médio x_m (ABNT NBR 7190:1997, 1997).

A resistência de compressão paralela às fibras de um corpo de prova é dada pelo valor da máxima tensão aplicada no corpo de prova durante o ensaio dividida pela área de seção transversal comprimida do mesmo. Na figura 15 está presente a imagem da prensa da marca Emic e modelo DL30000N utilizada nos ensaios de ruptura. Nos ensaios de resistência, tanto o ensaio da resistência de compressão paralela às fibras como no ensaio de resistência da ligação pregada, o carregamento foi realizado de forma monotônica e crescente até a ruptura do corpo de prova, com os incrementos de carga acontecendo na velocidade de 10 MPa/min.

A caracterização das classes de resistência de acordo com o EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004 segue a norma EN 388:2009, aonde a norma EN 384:2004 (EUROPEAN..., 2004) determina os ensaios a serem realizados para obter as classificações. Para enquadrar uma espécie dentro de uma classe de resistência são necessários ensaios para obtenção de resistência à flexão, módulo de elasticidade paralelo às fibras e densidade característica.



Figura 15: Prensa de compressão marca Emic e modelo DL3000N utilizada nos ensaios.

Fonte: (2018).

No processo de classificação das espécies de acordo com o EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004, devido à inviabilidade dos equipamentos necessários para realizar a classificação de acordo com essa norma, optou-se por utilizar o valor de resistência característica à compressão paralela às fibras obtido de acordo com os ensaios e regras definidos pelo ABNT NBR 7190:1997 e então classificar a espécie com base nos valores limites de $f_{c,0k}$ apresentados nos quadros 3 e 4.

Para ensaio de resistência da ligação, foram utilizados 12 corpos de prova. Dos 12, 6 corpos de prova foram da espécie de conífera *Pinus Taeda* com ligação pregada em corte duplo com 4 pregos lisos do tipo comercial 20x42 e 6 corpos de prova serão da espécie de dicotiledônea *Eucalyptus Grandis* com ligação pregada em corte duplo com 4 pregos lisos do tipo comercial 20x42. Nas figuras 16 e 17 encontram-se imagens de alguns dos corpos de prova confeccionados. As dimensões das peças dispostas na lateral do corpo de prova variam de 2,8 a 1,85 centímetros com uma média de 2,44 centímetros. As dimensões das peças centrais variam de 4,76 a 3,94 centímetros com uma média de 4,45 centímetros. Devido às variações de dimensões, as resistências esperadas e as comparações de diferença percentual com os resultados experimentais foram calculadas por corpo de prova e depois foi calculada a média desses valores.



Figura 16: Vista frontal dos corpos de prova utilizados.

Fonte: Autora (2018).



Figura 17: Vista lateral dos corpos de prova utilizados.

Fonte: Autora (2018).

Os pregos utilizados na ligação foram da marca Gerdau, com diâmetro de 4,4 mm e comprimento de 96,6 mm, de forma que as dimensões atendessem os valores mínimos de penetração segundo a ABNT NBR 7190. Na figura 18 encontra-se a ilustração do modelo utilizado.



Figura 18: Prego liso modelo comercial 20x42.

Fonte: Catálogo de pregos Gerdau.

A figura 19 está apresentada a imagem do ensaio de ruptura da ligação aonde o corpo de prova foi submetido ao esforço de compressão paralela às fibras.



Figura 19: Corpo de prova na prensa de ruptura.

Fonte: Autora (2018).

Após a obtenção dos resultados experimentais os mesmos foram confrontados com os resultados teóricos obtidos. Os resultados experimentais foram numericamente comparados aos resultados teóricos. As comparações incluem o valor da diferença numérica e percentual entre o resultado experimental obtido e a ABNT NBR 7190:1997, entre o resultado experimental obtido e o EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004, e o valor da diferença numérica e percentual dos resultados teóricos obtidos segundo a ABNT NBR 7190:1997 e o EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004.

Os valores calculados pela norma EN 1995-1-1 EUROCODE 5:2004 não consideraram o termo $F_{ax,Rk}$, força característica de resistência ao arrancamento axial, pois o mesmo deveria ser comprovado experimentalmente para que fosse

considerado nos cálculos. Também não foram consideradas as variações de umidade nos cálculos realizados.

Após a obtenção dos resultados, foi possível detectar se há superdimensionamento das ligações fazendo a comparação dos valores das resistências teóricas e experimentais obtidas.

4 RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

Os resultados associados ao rompimento de 12 corpos de prova de cada uma das espécies estudadas para obtenção do parâmetro $f_{c,0k}$ encontram-se nas tabelas 2 e 3.

Tabela 2: Resultados do cálculo da força de resistência característica á compressão paralela à direção das fibras para espécie de *Pinus Taeda*.

Corpo de prova	Resistência (MPa)	Posição em ordem decrescente
1	36,54	3
2	36,54	11
3	43,88	9
4	40,78	1
5	32,74	2
6	37,93	5
7	38,67	7
8	38,69	4
9	36,69	8
10	46,38	12
11	38,35	6
12	43,59	10
Média	39,24	-
Mediana	38,46	-
Desvio Padrão	3,81	-

Fonte: Autora (2018).

Tabela 3: Resultados do cálculo da força de resistência característica à compressão paralela à direção das fibras para espécie de *Eucalyptos Grandis*.

(continua)

Corpo de prova	Resistência (MPa)	Posição em ordem decrescente
1	32,18	10
2	31,91	9
3	29,27	2
4	35,07	12
5	30,72	4
6	30,93	5
7	31,7	8
8	33,93	6
9	30,93	7

Tabela 3: Resultados do cálculo da força de resistência característica à compressão paralela à direção das fibras para espécie de *Eucalyptos Grandis*.

(conclusão)

Corpo de prova	Resistência (MPa)	Posição em ordem decrescente
10	29,8	3
11	29,1	1
12	33,93	11
Média	31,63	-
Mediana	31,31	-
Desvio Padrão	1,91	-

Fonte: Autora (2018).

Na figura 20 está a imagem da amostra dos corpos de prova utilizados para determinação da resistência à compressão paralela às fibras após o rompimento para espécie de *Pinus Taeda* enquanto que na figura 21 está retratada a mesma amostra utilizada para a espécie de *Eucalyptus Grandis*.



Figura 20: Corpos de prova utilizados para determinação do $f_{c,0k}$ da espécie de *Pinus Taeda*, após o rompimento.

Fonte: Autora (2018).



Figura 21: Corpos de prova utilizados para determinação do $f_{c,0k}$ da espécie de *Eucalyptus Grandis*, após o rompimento

Fonte: Autora (2018).

Para o enquadramento das espécies em suas respectivas classes de resistência de acordo com a NBR 7190:1997, utilizou-se a equação 55 e o valor de $f_{c,0k}$, que resultou em 36,91 MPa para a espécie de *Pinus Taeda* e 31,90 MPa para a espécie de *Eucalyptus Grandis*. Tanto a espécie de conífera como de dicotiledônea se enquadram na classe C30.

Para a classificação de acordo com o EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004, a espécie de *Pinus Taeda* se enquadrou na classe C50 a espécie de *Eucalyptus Grandis* na classe D50.

De acordo com a ABNT NBR 7190:1997, a força de embutimento paralela às fibras, proporcional a resistência da ligação, é definida pela equação (7), e de acordo com o EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004 pela equação (33). De acordo com os resultados obtidos de $f_{c,0k}$ e consequente enquadramento das espécies nas classes de resistência, os valores obtidos para $f_{e,0k}$ encontram-se na tabela 4.

Tabela 4: Resultados do cálculo da força de embutimento para as espécies estudadas de acordo a ABNT NBR 7190:1997 e o EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004 em situações aleatórias.

Norma	Classe da madeira	Espécie	Diâmetro do prego ou parafuso (mm)	$f_{e,0k}$ (MPa)
ABNT NBR 7190:1997	C30	<i>Pinus Taeda</i>	4,4	30,00
EN 1995-1-1 Eurocde 5: 2004	C50	<i>Pinus Taeda</i>	4,4	36,06
ABNT NBR 7190:1997	C30	<i>Eucalyptos Grandis</i>	4,4	30,00
EN 1995-1-1 Eurocde 5: 2004	D50	<i>Eucalyptos Grandis</i>	4,4	48,60

Fonte: Autora (2018).

Adotando a ABNT 7190:1997 como referência, a variação percentual e numérica desses resultados encontra-se na tabela 5.

Tabela 5: Resultados da diferença percentual e numérica da força de embutimento de acordo a ABNT NBR 7190:1997 e o EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004 em situações aleatórias.

Classe da madeira	Espécie	Diâmetro do prego (mm)	$\Delta f_{e,0k}$ (N)	$\Delta f_{e,0k}$ (%)
C30	<i>Pinus Taeda</i>	4,4	6,06	20,20
C50	<i>Pinus Taeda</i>	4,4		
C30	<i>Eucalyptos Grandis</i>	4,4	18,60	62,01
D50	<i>Eucalyptos Grandis</i>	4,4		

Fonte: Autora (2018).

Nas condições citadas pela NBR, a força de embutimento depende da classe de resistência da madeira quando é calculada na direção paralela às fibras, e depende do diâmetro do pino, através do coeficiente α_e quando calculada na direção perpendicular às fibras. Para o EUROCODE esse valor depende da classe de resistência da madeira ao utilizar o valor da densidade característica da mesma, do diâmetro do pino utilizado, do ângulo α de inclinação do pino em relação às fibras e do tipo de madeira (macia, Painéis Laminados Estrutural, (LVL) ou dicotiledônea).

Observa-se nos resultados encontrados pelo EUROCODE 5, valores maiores do que os valores encontrados pela NBR 7190 e proporcionalmente a maior diferença de valores está nas espécies dicotiledôneas, sendo 62,01 % maior do que o calculado pela NBR 7190, enquanto que com a espécie de conífera essa diferença é de 20,20%.

Nas tabelas 6 e 7 estão apresentados os valores esperados para resistência da ligação dos corpos de prova confeccionado de acordo com ambas as normas para ambas as espécies, e a diferença percentual e numérica entre esses valores, tendo a NBR 7190:1997 como referência. Na figura 22 está mostrado o corpo de prova na prensa de compressão após a ruptura.

O corpo de prova número 6 da espécie de *Pinus Taeda*, apresentou um erro durante sua execução aonde houve o fendilhamento do membro central do corpo de prova durante a confecção, antes do rompimento, o que comprometeu o resultado do experimento, o que pode ser visualizado no gráfico 9 do apêndice A. Por isso, esse corpo de prova foi excluído dos cálculos das médias finais dos corpos de prova.

Tabela 6: Resultados esperados para força de resistência da ligação dos corpos de prova da espécie de *Pinus Taeda*.

Corpo de prova	Força esperada NBR 7190:1997 (N)	Força esperada EN 1995-1-1 Eurocode 5: 2004 (N)	Δ (N)	Δ (%)
1	9187,20	11309,09	2121,89	23,10
2	9123,84	11284,61	2160,77	23,68
3	8201,60	11421,34	3219,74	39,26
4	8581,76	11370,53	2788,77	32,50
5	9060,48	11257,69	2197,21	24,25
6	-	-	-	-
Média	8809,98	11328,55	2497,68	28,55
Mediana	9060,48	11309,09	2197,21	24,25
Desvio padrão	425,31	66,53	487,63	7,11

Fonte: Autora (2018).

Tabela 7: Resultados esperados para força de resistência da ligação dos corpos de prova da espécie de *Eucalyptos Grandis*.

Corpo de prova	Força esperada NBR 7190:1997 (N)	Força esperada EN 1995-1-1 Eurocode 5: 2004 (N)	Δ (N)	Δ (%)
1	9021,76	13217,47	4195,71	46,51
2	9289,28	13114,13	3824,85	41,17
3	9567,36	13094,80	3527,44	36,87
4	9922,88	13060,04	3137,16	31,62
5	9437,12	13105,83	3668,71	38,88
6	8585,28	13230,44	4645,16	54,11
Média	9303,95	13137,12	3833,17	41,52
Mediana	9363,20	13109,98	3748,78	40,03
Desvio padrão	461,85	69,86	528,35	7,88

Fonte: Autora (2018).



Figura 22: Corpo de prova na prensa de ruptura após a ruptura.

Fonte: Autora (2018).

Na tabela 8 está apresentado o resultado obtido experimentalmente para resistência da ligação dos corpos de prova de ambas as espécies. Nos gráficos 4 à 15 estão representados os valores força aplicada *versus* tempo de ensaio e os mesmos encontram-se no apêndice A.

Tabela 8: Resultados obtidos para força de resistência da ligação dos corpos de prova das espécie de *Pinus Taeda* e *Eucalyptus Grandis*.

Corpo de prova	Força de ruptura para os corpos de prova da espécie de <i>Pinus Taeda</i> (N)	Força de ruptura para os corpos de prova da espécie de <i>Eucalyptus Grandis</i> (N)
1	16920,14	17281,64
2	15122,69	17643,14
3	13023,99	17512,60
4	12361,25	17683,31
5	15524,36	18862,22
6	-	15142,78
Média	14590,49	17354,28
Mediana	15122,69	17577,87
Desvio padrão	1871,23	1215,46

Fonte: Autora (2018).

Na tabela 9 está apresentada a diferença percentual entre o resultado obtido experimentalmente para resistência da ligação e os resultados calculados de acordo com a NBR 7190:1997 e o EN 1995-1-1 EUROCODE 5:2004 para espécie de *Pinus Taeda*.

Tabela 9: Diferença percentual entre os valores resultantes do ensaio de experimental e os valores teóricos obtidos para a espécie de *Pinus Taeda*.

Corpo de prova	Diferença a partir da NBR 7190:1997 (%)	Diferença a partir do EN 1995-1-1 Eurocode 5: 2004 (%)
1	84,17	49,62
2	65,75	34,01
3	58,80	14,03
4	44,04	8,71
5	71,34	37,9
6	-	-
Média	64,82	28,85
Mediana	65,75	34,01
Desvio padrão	14,88	17,06

Fonte: Autora (2018).

Na tabela 10 está apresentada a diferença percentual entre o resultado obtido experimentalmente para resistência da ligação e os resultados calculados de acordo com NBR 7190:1997 e o EN 1995-1-1 EUROCODE 5:2004 para espécie de *Eucalyptus Grandis*.

Tabela 10: Diferença percentual entre os valores resultantes do ensaio de experimental e os valores teóricos obtidos para a espécie de *Eucalyptus Grandis*.

Corpo de prova	Diferença a partir da NBR 7190:1997 (%)	Diferença a partir do EN 1995-1-1 Eurocode 5: 2004 (%)
1	91,56	30,75
2	89,93	34,54
3	83,05	33,74
4	78,21	35,40
5	99,87	43,92
6	76,38	14,45
Média	86,50	32,13
Mediana	86,49	34,14
Desvio padrão	8,94	9,72

Fonte: Autora (2018).

Nas tabelas 11 e 12 estão apresentados os resultados médios obtidos experimentalmente para resistência da ligação e os resultados médios calculados de acordo para ambas as normas juntamente com as diferenças percentuais entre esses valores. Nos gráficos 1 e 2 estão apresentadas as resistências obtidos, sendo que no eixo das abscissas está o método utilizado e no eixo das coordenadas os valores de resistências da ligação.

Tabela 11: Resultado médio dos valores obtidos no ensaio experimental e dos valores teóricos obtidos com a diferença percentual média para a espécie de *Pinus Taeda*.

-	NBR 7190:1997	EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004	Resultado experimental
Resistência média (N)	8809,98	11328,55	14590,49
Diferença numérica (N)	5840,51	3321,94	
Diferença percentual (%)	64,82	28,85	-

Fonte: Autora (2018).

Tabela 12: Resultado médio dos valores obtidos no ensaio experimental e dos valores teóricos obtidos com a diferença percentual média para a espécie de *Eucalyptus Grandis*.

-	NBR 7190:1997	EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004	Resultado experimental
Resistência média (N)	9303,95	13137,12	17354,28
Diferença numérica (N)	8050,33	4217,16	
Diferença percentual (%)	86,50	32,13	-

Fonte: Autora (2018).

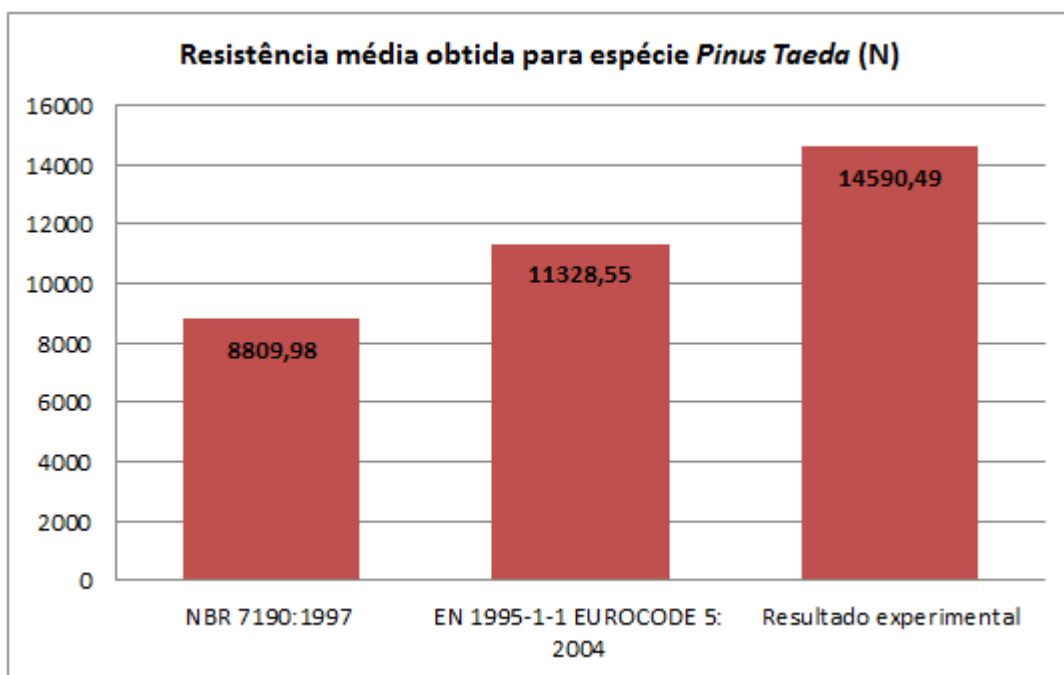


Gráfico 1: Resultado médio dos valores obtidos no ensaio experimental e dos valores teóricos obtidos para a espécie de *Pinus Taeda*.
Fonte: Autora (2018).

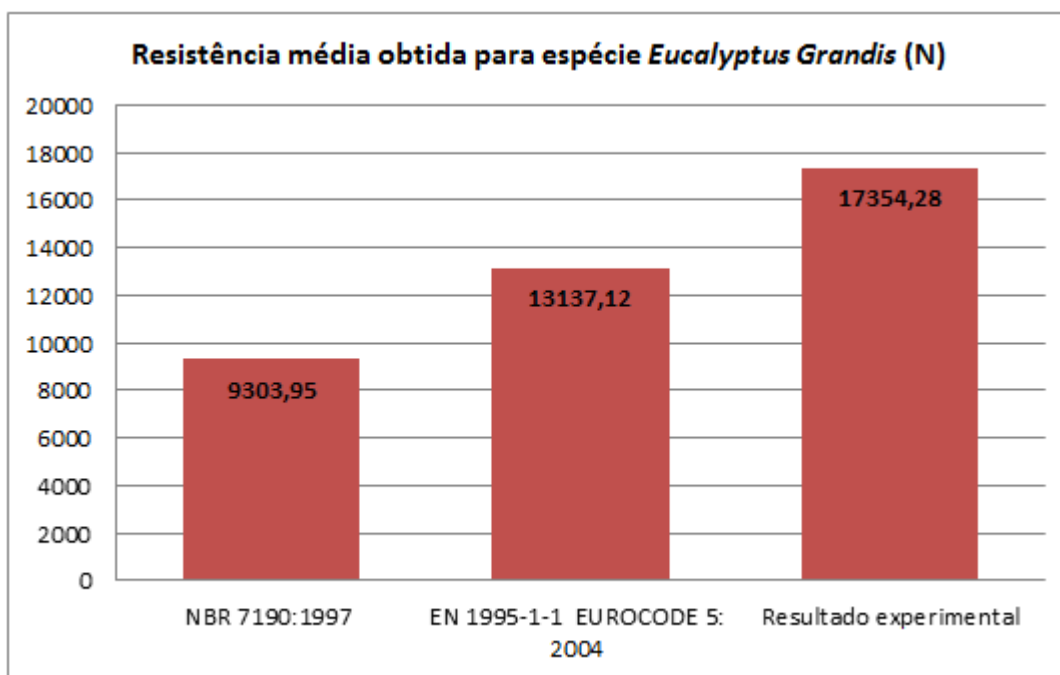


Gráfico 2: Resultado médio dos valores obtidos no ensaio experimental e dos valores teóricos obtidos para a espécie de *Eucalyptus Grandis*.
Fonte: Autora (2018).

Os resultados encontrados experimentalmente foram maiores que os resultados esperados em todas as situações e em todos os corpos de prova, o que assegura a integridade e segurança das normas. No entanto observasse que os resultados obtidos pelo EN 1995-1-1 EUROCODE 5:2004 se aproximaram muito mais dos resultados experimentais, sendo esse fato muito mais evidente na espécie de dicotiledônea.

Os valores de cálculo da resistência da ligação para a espécie de *Pinus Taeda* se apresentaram em média 28,55% maiores no EN 1995-1-1 EUROCODE 5:2004 do que na NBR 7190:1997. Para a espécie de *Eucalyptus Grandis*, a NBR apresentou média de valores 41,52% menor do que os valores resultantes no EUROCODE.

Em comparação ao resultado médio obtido experimentalmente, os valores obtidos para espécie de *Pinus Taeda* foram 64,82% maiores do que os valores teóricos obtidos pela NBR 7190:1997 e 28,85% maiores do que os obtidos pelo EN 1995-1-1 Eurocode 5:2004. Para a espécie de *Eucalyptus Grandis*, o resultado médio obtido experimentalmente foi 86,50% maior do que na NBR 7190:1997 e 32,12% maior do que no EN 1995-1-1 EUROCODE 5:2004. Tais números podem ser verificados no gráfico 3, aonde o eixo das abcissas mostra a norma utilizada como referência para comparação numérica e o eixo das ordenadas traz a diferença percentual encontrada entre resultado experimental para o resultado teórico.

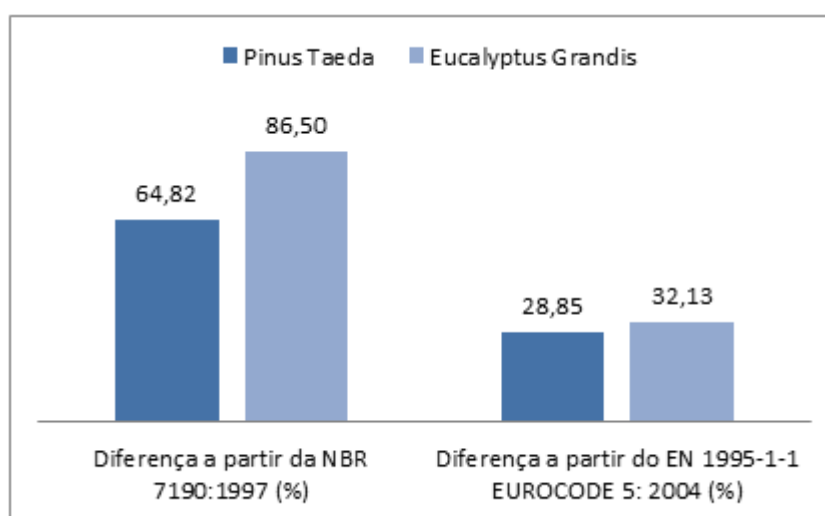


Gráfico 3: Diferenças percentuais entre os resultados obtidos experimentalmente e os resultados teóricos para as espécies de *Pinus Taeda* e *Eucalyptus Grandis*.
Fonte: Autora (2018).

Os resultados obtidos mostram que a diferença percentual dos valores teóricos obtidos pela NBR 7190:1997 nas coníferas é mais próxima do que dos resultados experimentais obtidos na espécie de dicotiledônea. Os resultados teóricos são 21,68% mais próximos do que os experimentais nas coníferas em comparação as dicotiledôneas. No EN 1995-1-1 EUROCODE 5:2004 essa mesma diferença é de 3,28%, o que indica a maior discrepância entre os valores de coníferas e de dicotiledôneas calculados pela NBR no que diz respeito a proximidade com os valores experimentais.

A grande diferença entre os números comparativos de ambas as normas provavelmente se dá pelo fato de que na NBR as equações de cálculo estão em função de alguma força característica da classe da madeira em questão, como por exemplo, a força de embutimento. Logo, o tratamento de coníferas e dicotiledôneas é apenas proporcional à classe em que as mesmas se enquadram de acordo com os ensaios de força resistente à compressão paralela às fibras. Se as classes de resistências das espécies são iguais, os valores de resistência da ligação serão os mesmos. No EUROCODE, a maioria dos cálculos envolve a densidade característica da madeira. Coníferas e dicotiledôneas apresentam, em ambas as normas, valores iguais de forças características para as respectivas classes e valores diferentes de densidade, sendo que a densidade é sempre maior nas dicotiledôneas.

De acordo com as equações de cálculo, implicasse que na NBR coníferas e dicotiledôneas são tratadas como iguais no que diz respeito ao dimensionamento das ligações estudadas, enquanto que na realidade, as mesmas apresentam propriedades intrínsecas diferentes, e as dicotiledôneas desempenham melhor a função de componente estrutural. Nesse quesito, o EUROCODE parece se mostrar mais adequado, pois consegue fazer a distinção entre essas propriedades para que as mesmas reflitam nos cálculos.

Outro fator relevante é que o enquadramento dentro das classes de resistência seguiu as regras exigidas pela NBR 7190:1997. Tais regras são encontrado no corpo do texto da página 18 e item 6.4.8 da NBR, seguindo a equação (48). O método definido na NBR foi adaptado para o respectivo enquadramento de acordo com a norma UNI EN 338:2009 devido à falta de recursos para realização dos ensaios. É possível que a aproximação feita tenha resultado em classes de resistência superiores a reais se os ensaios fossem também realizados de acordo com o EN 1995-1-1 EUROCODE 5:2004.

Os ensaios realizados foram feitos com madeiras amplamente encontradas em território brasileiro. Tais espécies não possuem o mesmo tipo de ocorrência em território Europeu devido às condições climáticas. O Brasil é considerado um país tropical, extenso em área e com grandes variações de latitude, a Europa também é um continente extenso e com grandes variações de longitude. A diferença entre as condições climáticas das duas regiões citadas está diretamente ligada às espécies que crescem na região e conseqüentemente às suas características. A mesma espécie pode ser cultivada em regiões diferentes e devido às condições climáticas presentes, apresentar propriedades diferentes.

A qualidade da madeira encontrada em território brasileiro é conhecida pelos profissionais estrangeiros, principalmente os franceses. As importações de compensados e de madeira serrada são grandes. A matéria-prima tropical é documentada como incomparável à europeia por sua densidade, próxima ou superior a uma tonelada por metro cúbico em diversas espécies; pela sua resistência às intempéries e aos ataques biológicos por insetos e fungos e pela variedade de cores e texturas. (MULLER, 2005). Todos os fatores externos impactam no desempenho da estrutura em madeira, pois afetam diretamente suas propriedades intrínsecas e conseqüentemente seu desempenho e capacidade de carga. A análise desses fatores é um ponto essencial para poder fazer comparações. Um estudo direcionado à comparação das propriedades de uma espécie cultivada tanto em território Brasileiro quanto em território Europeu pode trazer respostas para as questões levantadas e proporcionar uma reflexão do quanto os fatores externos influenciam no desempenho estrutural da madeira.

5 CONCLUSÕES

As conclusões desse trabalho foram as seguintes:

- A partir da revisão bibliográfica foi possível identificar semelhanças e diferenças entre os parâmetros utilizados, procedimentos de cálculos e quantidade de fatores envolvidos na ABNT NBR 7190:1997 e no EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004, sendo que no EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004 tais fatores são mais extensos em quantidade;
- A partir das planilhas confeccionadas de acordo com os procedimentos e equacionamentos definidos nas normas, foi possível obter os valores teóricos de resistência da ligação para as peças confeccionadas. No entanto não foi possível seguir a riscas os critérios do EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004 para o enquadramento das espécies dentro de uma classe de resistência por falta de recursos disponíveis, então o procedimento foi adaptado;
- Com os resultados teóricos obtidos, os valores esperados de acordo com as regras do EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004 foram 28,55% maiores nos corpos de prova da espécie *Pinus Taeda* e 41,52% maiores na espécie *Eucalyputs Grandis* em comparação aos valores esperados pela ABNT NBR 7190:1997;
- Com os resultados dos experimentos físicos realizados com os corpos de prova com ligações pregadas, para a espécie de *Pinus Taeda* os resultados experimentais foram 28,85% maiores do que os resultados teóricos do EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004 e 64,72% maiores do que os valores da ABNT NBR 7190:1997. Para a espécie *Eucalyputs Grandis* esses números foram de 32,13% e 84,50% respectivamente.

Finalmente conclui-se que nas condições em que foi realizado esse trabalho, os dimensionamentos empregados de acordo com os atuais critérios da ABNT NBR 7190:1997 e do EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004 diferem entre si tanto no quesito metodologia como nos valores esperados, sendo que os procedimentos adotados pelo EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004 são mais extensos, e em todos os casos estudados, os resultados teóricos obtidos por essa norma foram mais próximos dos resultados experimentais obtidos se em comparação com a ABNT NBR 7190:1997.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFLALO, M. MULLER, D.G. MARTINS, A. WISNIK, G. **Madeira como Estrutura: A historia da Ita.** São Paulo, Paralaxe: 2005.

ALMEIDA, P. A. **Uniões pregadas em madeira.** Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1997. CITADO EM ALMEIDA, P. A. **Madeira como material estrutural.** Apostila estruturas de madeira da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Disponível em: <<http://www.lem.ep.usp.br/pef2402/METALICAS%20E%20MADEIRAS%20-%20PEF%202402%20-%20APOSTILA.pdf>>. Acesso em 17 de março, 2018.

ALMEIDA, P. A. **O. Estruturas de grande porte de madeira composta.** Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1990. CITADO EM STAMATO, G. **Ligações em estrutura de madeira compostas por chapa de madeira compesada.** Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2002.

ALZATE, Sandra B. A. **Caracterização da madeira de árvores de clones de *Eucalyptus Grandis*, *E. Saligna*, *E. grandis x urophylla*.** Tese apresentada à escola superior de agricultura “Luis de Queiroz” da Universidade de São Paulo. São Paulo, Setembro, 2004.

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

BAENA, Juliano Silveira. **Comparações dos critérios de dimensionamento de ligações por pinos metálicos (parafusos) em estruturas de madeira.** Tese de Mestrado. Escolha de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2015.

BOND, Brian. **Wood Identification for Hardwood and Softwood Species Native to Tennessee.** *The University of Tennessee Agricultural Extension Service*, fev. 2002. Disponível em: <http://trace.tennessee.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1009&context=utk_agexfores>. Acesso em 15 de agosto, 2018.

CALIL JUNIOR, C. DIAS, A.A. **Utilização da Madeira em Construções Rurais.** Revista Madeira, edição 88, mar. 2005. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=714&subject=Con>

stru%E7%E3o&title=Utiliza%E7%E3o%20da%20madeira%20em%20constru%E7%F5es%20rurais>. Acesso em 12 de março, 2018.

CALIL JUNIOR, C. LARH, F. A R. DIAS, A.A. **Dimensionamento de elementos estruturais de madeira**. Barueri, Manole, 2003. CITADO EM BAENA, Juliano Silveira. **Comparações dos critérios de dimensionamento de ligações por pinos metálicos (parafusos) em estruturas de madeira**. Tese de Mestrado. Escolha de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2015.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004: Design of timber structures. Parte 1 – 1: General – common rules and rules for buildings. Bruxelas; CEN, 2004.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. UNI EN 384 – Scrutural Timber – Determination of characteristic values of mechanical properties and density. Bruxelas; CEN, 2004.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. UNI EN 388 – Scrutural Timber – Strength classes. Bruxelas; CEN, 2009.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. UNI EN 14592 – Timber Scrutures – Fastners – Requirements. Bruxelas; CEN, 2008.

GALVANI, E. **Unidades Climáticas Brasileiras**. Apostila de Climatologia I – Universidade de São Pualo. S.d. Disponível em: <http://www.geografia.fflch.usp.br/graduacao/apoio/Apoio/Apoio_Emerson/Unidas_Climaticas_Brasileiras.pdf>. Acesso em 24 de outubro, 2018.

GERDAU. **Catálogo de pregos Gerdau**. Disponível em: <<https://www.gerdau.com/br/pt/productsservices/products/Document%20Gallery/catalogo-pregos-gerdau.pdf>>. Acesso em 10 de outubro, 2018.

LIMA, T. **Dicas poderosas para optar por construção de madeira**. Plataforma Sienge. Disponível em: <<https://www.sienge.com.br/blog/construcao-de-madeira/>>. Acesso em 3 de dezembro, 2018.

MENDES, Miguel Ferreira de Castro. **Ligações e estruturas de madeira tecnologia e dimensionamento de acorodo comno EN 1995-1-1 EUROCODE 5: 2004**. Tese de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1994.

MOREIRA, Igor; AURICCHIO, Elizabeth. **Construindo o Espaço Mundial**. 3 ed. 8ª série. Unidade 1, Capítulo 2. São Paulo: Ática, 2010. p. 16-28.

MORESCHI, João Carlos. **Propriedades tecnológicas da madeira**. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal UFPR, terceira edição, fevereiro de 2010.

NEMRY, F. THEUNIS, J, BRECHET, T.H. LOPEZ, Bruxelas, jun. 2001. **Greenhouse gas emissions reduction and material flows**. *Institut Wallon de developpement economique et social et d'amenagement du territoire asbl*. IDD – *Institut Wallon – VITO*, Bruxelas, jun. 2001. Disponível em: <https://www.belspo.be/belspo/organisation/Publ/pub_ostc/CG2131/rappCG31_en.pdf>. Acesso em 14 de março, 2018.

MENDES, Gonçalo M. P. **Caraterização de proveniências de Pinus elliottii e Pinus taeda para instalação de ensaios de proveniências**. Dissertação de mestrado em recursos florestais. Escola Superior Agrária de Coimbra – ESAC. Coimbra, abril de 2017.

PLETZ, Everaldo. **A história da construção com madeira**. Entrevista concedida ao Portal Madeira e Construção, 12 jul. 2017. Disponível em: <<http://madeiraeconstrucao.com.br/a-historia-da-construcao-com-madeira/>>. Acesso em 30 de agosto, 2018.

PORTAL DA MADEIRA. **A madeira na história**. Disponível em: <<http://portaldamadeira.blogspot.com/2008/12/madeira-na-histria.html>>. Acesso em 30 de agosto, 2018.

PFEIL, W. PFEIL, M. **Estruturas de Madeira**. Rio de Janeiro, LTC, jul. 2003.

STAMATO, Guilherme. **Aumento das construções em madeira na Europa**. Portal Madeira e Construção, Curitiba, 2 fev. 2017. Disponível em: <<http://madeiraeconstrucao.com.br/aumento-das-construcoes-em-madeira-na-europa/>>. Acesso em 12 de março, 2018.

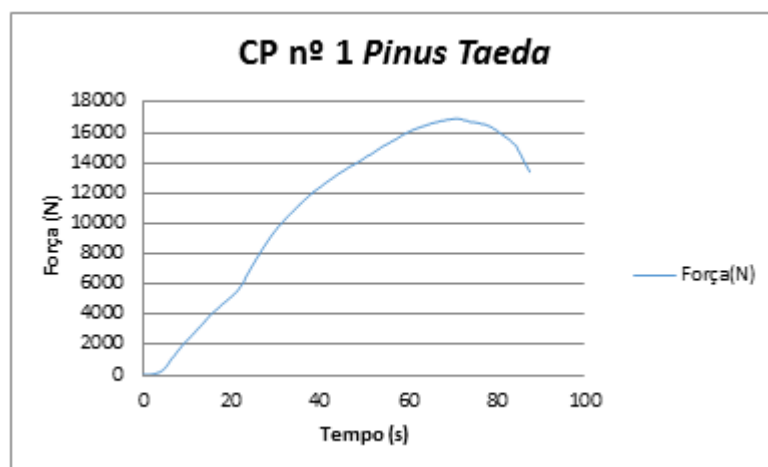
APÊNDICE A: Séries temporais de investigação experimental

Gráfico 4: Força x tempo para o corpo de prova número 1 da espécie *Pinus Taeda*.

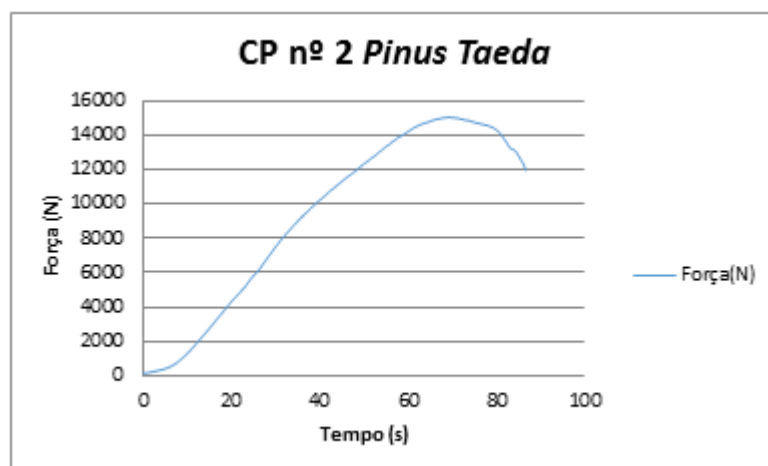


Gráfico 5: Força x tempo para o corpo de prova número 2 da espécie *Pinus Taeda*.

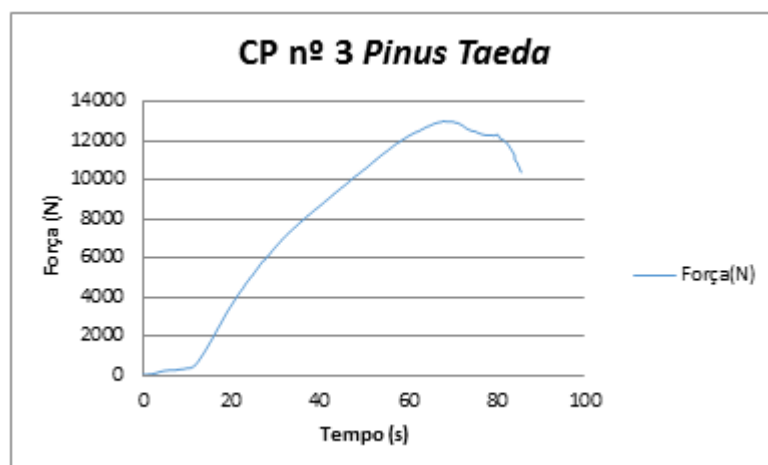


Gráfico 6: Força x tempo para o corpo de prova número 3 da espécie *Pinus Taeda*.

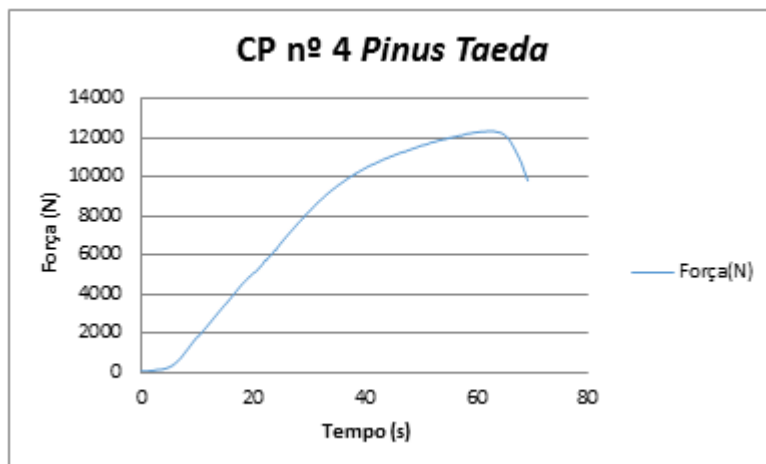


Gráfico 7: Força x tempo para o corpo de prova número 4 da espécie *Pinus Taeda*.

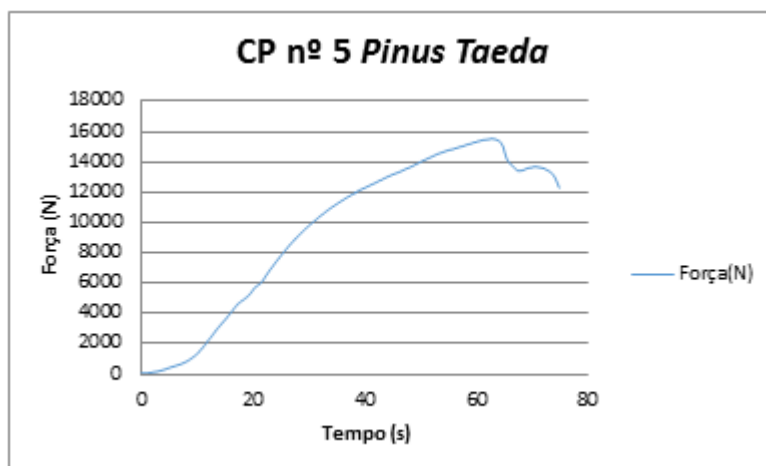


Gráfico 8: Força x tempo para o corpo de prova número 5 da espécie *Pinus Taeda*.

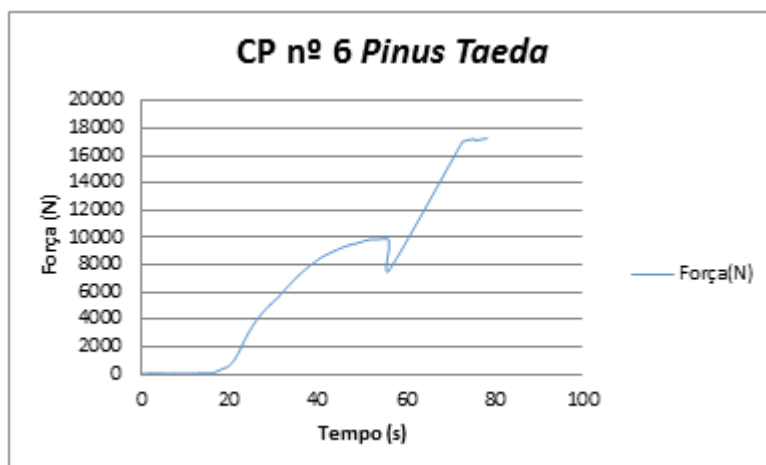


Gráfico 9: Força x tempo para o corpo de prova número 6 da espécie *Pinus Taeda*.

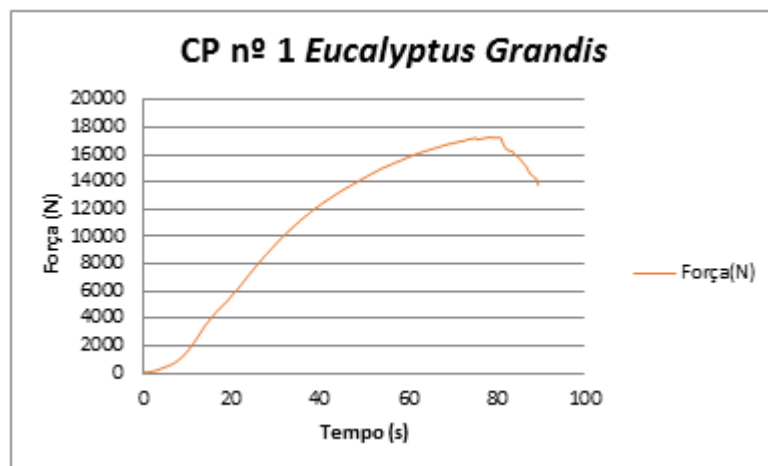


Gráfico 10: Força x tempo para o corpo de prova número 1 da espécie *Eucalyptus Grandis*.

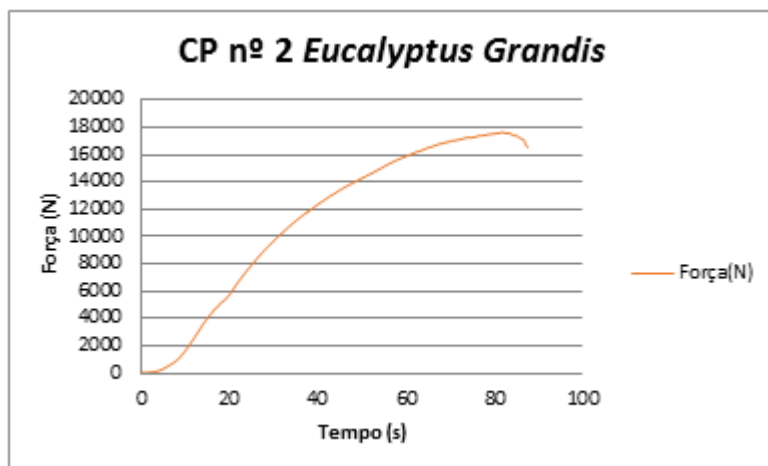


Gráfico 11: Força x tempo para o corpo de prova número 2 da espécie *Eucalyptus Grandis*.

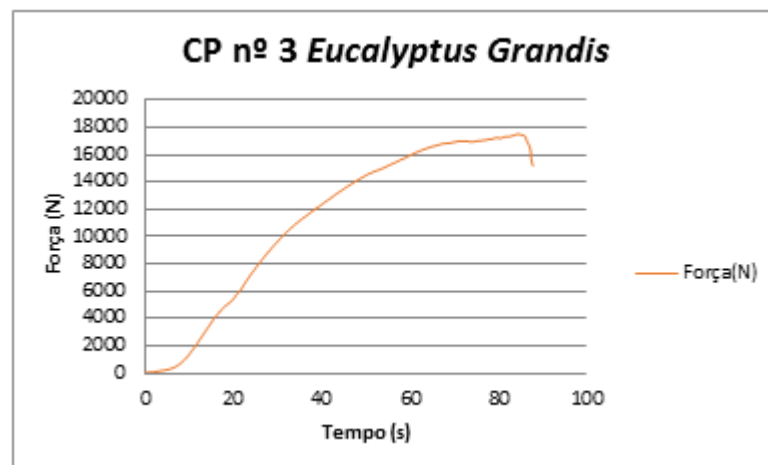


Gráfico 12: Força x tempo para o corpo de prova número 3 da espécie *Eucalyptus Grandis*.

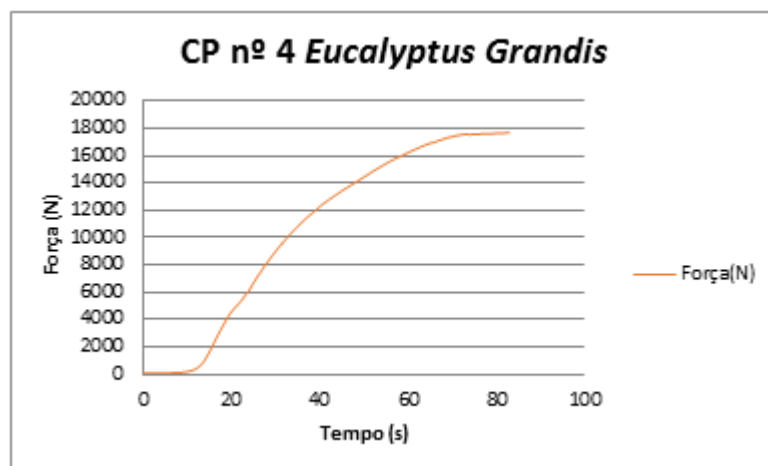


Gráfico 13: Força x tempo para o corpo de prova número 4 da espécie *Eucalyptus Grandis*.

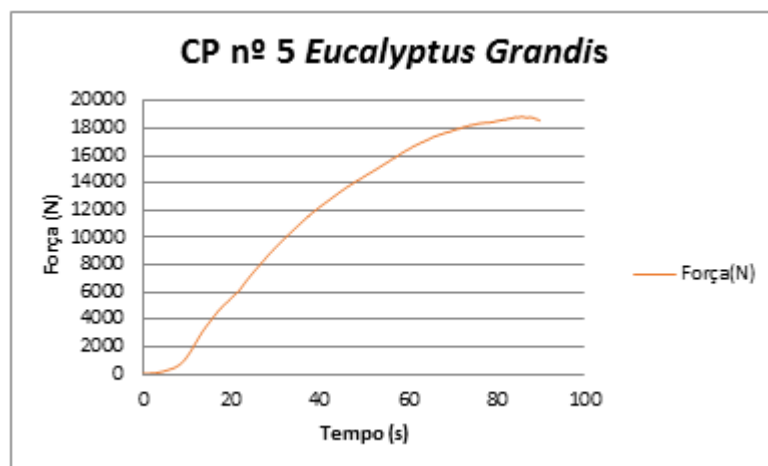


Gráfico 14: Força x tempo para o corpo de prova número 5 da espécie *Eucalyptus Grandis*.

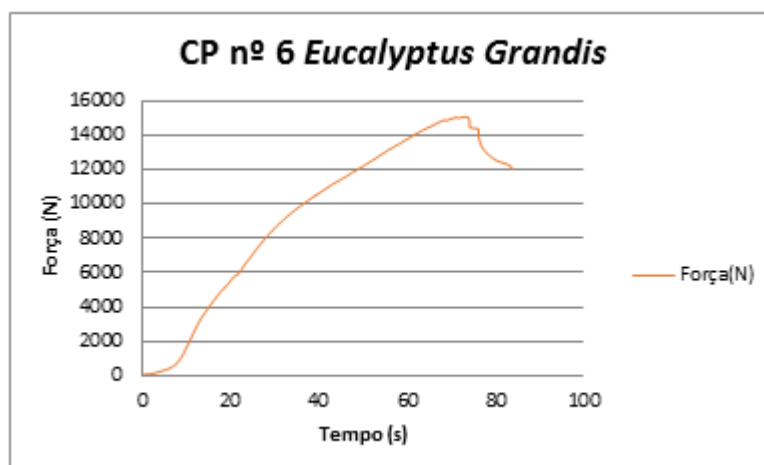


Gráfico 15: Força x tempo para o corpo de prova número 6 da espécie *Eucalyptus Grandis*.