

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS EXPERIMENTAL DE ITAPEVA

RODRIGO BATISTA PEREIRA

**PROPOSTA DE CONECTOR PARA ENSAIOS DE LIGAÇÕES
CDE SUBMETIDAS À TRAÇÃO PERPENDICULAR AS
FIBRAS EM MADEIRA DE PINUS**

Itapeva - SP

2011

RODRIGO BATISTA PEREIRA

**PROPOSTA DE CONECTOR PARA ENSAIOS DE LIGAÇÕES
CDE SUBMETIDAS À TRAÇÃO PERPENDICULAR AS
FIBRAS EM MADEIRA DE PINUS**

Trabalho de Graduação apresentado no Campus Experimental de Itapeva - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", como requisito para a conclusão do curso de Engenharia Industrial Madeireira.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Jorge Duarte de Souza

Itapeva - SP

2011

Pereira, Rodrigo Batista

P436p Proposta de conector para ensaios de ligações cde submetidas à tração perpendicular as fibras em madeira pinus / Rodrigo Batista Pereira – – Itapeva, 2011
66 f.: il.

Trabalho de Graduação do Curso Engenharia Industrial Madeireira apresentado ao Campus Experimental de Itapeva – UNESP, 2011.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Jorge Duarte de Souza
Banca examinadora: Prof^a. Dr^a. Cristiane Inácio de Campos; Prof. Dr. Manuel Cléber de Sampaio Alves.

Inclui bibliografia

1. Trelças de madeira. 2. Ligações. 3. Chapa com dentes estampados.
- I. Título. II. Itapeva - Curso de Engenharia Industrial Madeireira.

CDD 624.184

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS EXPERIMENTAL DE ITAPEVA

**PROPOSTA DE CONECTOR PARA ENSAIOS DE LIGAÇÕES
CDE SUBMETIDAS À TRAÇÃO PERPENDICULAR AS
FIBRAS EM MADEIRA DE PINUS**

RODRIGO BATISTA PEREIRA

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO
COMO PARTE REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
GRADUADO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL MADEIREIRA

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO
DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL MADEIREIRA

Prof. Dr. José Cláudio Caraschi
Coordenador de Curso

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Alexandre Jorge Duarte de Souza
Orientador – Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Prof. Dr^a. Cristiane Inácio de Campos
Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Prof. Dr. Manoel Cléber de Sampaio Alves
Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Dedico esse trabalho aos meus pais Sandra Regina Batista Pereira e Walter Gomes da Costa Pereira por todo o trabalho e dedicação.

Ao meu irmão Felipe Batista Pereira por sua paciência.

A minha irmã Bruna Batista Pereira por sua Inteligência e alegria.

Agradeço a Deus, por ter me dado uma boa vida, saúde, inteligência e uma ótima família que me apoiou em todos os momentos e decisões.

À minha Mãe pelo amor, carinho, apoio e educação dedicados em todas as etapas da minha vida.

Ao meu Pai, pelo seu caráter, esforço e inteligência. Vou seguir seus passos e honrarei seu sangue.

Ao meu orientador Alexandre, pelo apoio, amizade e conhecimento adquirido durante os trabalhos.

À minha namorada Renata Cambiano Zampieri, pelo amor, companheirismo, paciência e força.

À UNESP, faculdade que me proporcionou uma excelente formação profissional, aos funcionários e professores do Campus Experimental de Itapeva.

Ao centro acadêmico (CAENGIM) e a empresa júnior (PROMAD JR.), entidades por onde passei, aprendi e colaborei com meu trabalho.

Aos amigos que fiz na faculdade, obrigado pelos melhores anos da minha vida até aqui...

RESUMO

O crescimento da população urbana brasileira relacionado à falta de oferta de infraestrutura pública como hospitais, creches, estabelecimentos escolares, entre outros, têm reforçado a necessidade de se desenvolver métodos alternativos que simplifiquem os processos construtivos e permitam que haja uma redução nos custos dessas obras. Os processos convencionais têm, cada vez mais, se mostrando pouco eficientes para resolver a problemática da demanda pelos diferentes tipos de edificações urbanas e rurais. Diante deste fato, os processos construtivos industrializados conseguem ganhar espaço e vem se mostrando altamente interessantes para solucionar os problemas supracitados, em particular, considerando a relação custo-benefício e tempo. Sendo assim, o presente trabalho teve como objetivo principal verificar a influência da umidade sobre a resistência em ligações de conectores CDE's (chapa com dentes estampados). Para o dimensionamento das ligações entre peças estruturais de madeira por meio de conectores metálicos com dentes estampados; controlaram-se as variáveis do processo, como: secagem da madeira e os diferentes teores de umidade, e por fim, a criação de um novo modelo de dispositivo de ensaio para tração perpendicular às fibras. Alguns corpos-de-prova obtiveram valores abaixo do esperado, podendo ser explicado pela presença de medula, nó e rachaduras pré-existentes. Deste modo, os resultados considerados fora do resultado esperado, foram descartados para uma melhor análise e resultados mais precisos.

Palavras-chave: Chapa com dentes estampados. Ligações. Estrutura de Madeira. Ensaio. Resistência.

ABSTRACT

The growth of urban population associated with the shortage of supply of public infrastructure such as hospitals, kindergartens, schools, among others, has reinforced the need to develop alternative methods that simplify the construction processes and allows for a reduction in these costs works. The conventional processes have increasingly been shown ineffective to solve the problem of demand for different types of urban and rural buildings. Given this fact, industrial construction processes can gain space and have proven to be highly interesting to solve the above problems, in particular, considering the cost-effective and time. Therefore, this study aimed to determine the influence of moisture on the strength of metal plate connections connectors (printed plate with teeth). For the sizing of the links between structural lumber using metal connectors with teeth prints; controlled process variables (drying of the wood and the different moisture contents), and finally found results and compare them with different literatures order to obtain a qualitative efficiency of the process. Some specimens had very low expectations, can be explained by the presence of bone marrow, and pre-existing cracks. Thus, the results were discarded for further analysis and more accurate results.

Keywords: Metal plate. Links. Structure of wood. Essays. Testing. Resistance

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Madeira pinus serrada	18
FIGURA 2 – Madeira pinus com vista longitudinal e transversal respectivamente	19
FIGURA 3 – Estrutura de cobertura no sistema convencional	20
FIGURA 4 – Estrutura de cobertura no sistema pré-fabricado	21
FIGURA 5 – Estrutura de cobertura no sistema intermediário	21
FIGURA 6 – Elementos básicos constituintes em uma tesoura	22
FIGURA 7 – Tesoura tipo Howe (diagonais normais)	23
FIGURA 8 – Tesoura tipo Pratt (diagonais invertidas)	23
FIGURA 9 – Tesoura tipo Belga (diagonais invertidas)	24
FIGURA 10 – Tesoura tipo Fink (diagonais invertidas)	24
FIGURA 11 – Vigas treliçadas com diferentes posições das diagonais	24
FIGURA 12 – Modelo de encaixe	26
FIGURA 13 – Modelo de ligação por pregos	27
FIGURA 14 – Mecanismo de apoio do pino sobre a madeira	27
FIGURA 15 – Ruptura por esmagamento	28
FIGURA 16 – Ruptura por cisalhamento	28
FIGURA 17 – Ruptura por flexão do pino	28
FIGURA 18 – Cavilha de madeira	29
FIGURA 19 – Direções do conector CDE em relação a direção da força aplicada	30
FIGURA 20 – Aplicação industrial do conector CDE em estruturas de madeira	30
FIGURA 21 – Exemplo do CDE utilizado nos ensaios	31
FIGURA 22 – Exemplo do uso dos conectores CDE para secagem de madeira	32
FIGURA 23 – Aplicação industrial do conector CDE em estruturas de madeira	32
FIGURA 24 – Estrutura curva com ligações de CDE´s	33
FIGURA 25 – Esquema de estrutural por CDE	33
FIGURA 26 – Diagrama de carregamento para ensaio de ligação por CDE	36
FIGURA 27 – Medidor de umidade da marca Marrari	38

FIGURA 28 – Máquina de ensaio laboratorial EMIC com capacidade máxima de 300 kN	39
FIGURA 29 – Estufa de secagem do laboratório de propriedades mecânicas	39
FIGURA 30 – Prensa manual da marca Ribeiro do laboratório de usinagem	40
FIGURA 31 – Furadeira horizontal utilizada na furação dos corpos-de-prova	40
FIGURA 32 – Modelo do suporte para ensaio.....	42
FIGURA 33 – Exemplo do dispositivo superior para encaixe na máquina de Ensaio (EMIC).....	43
FIGURA 34 – Furação do conector para ensaio	43
FIGURA 35 – Exemplo do dispositivo utilizado nos ensaios na parte superior	44
FIGURA 36 – Dispositivo conectado na parte inferior dos corpos-de-prova	44
FIGURA 37 – Parafuso utilizado para fixação dos corpos-de-prova com o dispositivo.....	45
FIGURA 38 – Descrição das peças de madeira para ensaio de tração perpendicular as fibras da madeira	46
FIGURA 39 – Modelo do CDE utilizado no processo de ensaio.....	46
FIGURA 40 – Corpo de prova para ensaio de tração perpendicular as fibras da madeira	47
FIGURA 41 – Máquina esquadrejadeira	47
FIGURA 42 – Corte da madeira nas dimensões desejadas.....	48
FIGURA 43 – Furação para encaixe do suporte de ensaio.....	48
FIGURA 44 – Peças já furadas imersa no tanque do laboratório de propriedades mecânicas	49
FIGURA 45 – Alavanca da prensa manual utilizada para a prensagem dos corpos-de-prova	50
FIGURA 46 – Modo de prensagem dos conectores CDE	50
FIGURA 47 – Chapa utilizada no processo de prensagem.....	51
FIGURA 48 – Prensagem dos corpos-de-prova.....	51
FIGURA 49 – Calibração da força aplicada em cada corpo-de-prova.....	52
FIGURA 50 – Corpos-de-prova depois do processo de prensagem	52
FIGURA 51 – Furadeira horizontal utilizada na furação dos corpos-de-prova	53
FIGURA 52 – Modelo de furação da base (alma) dos corpos-de-prova.....	53

FIGURA 53 – Estufa de secagem utilizada no processo de secagem dos corpos-de-prova	54
FIGURA 54 – Verificação da umidade antes do corpo-de-prova ser ensaiado	55
FIGURA 55 – Corpo-de-prova sendo ensaiado.....	56
FIGURA 56 – Resultado do teste do corpo-de-prova.....	56
FIGURA 57 – Ruptura no ponto de fixação do dispositivo	62
FIGURA 58 – Exemplo de deformação do corpo de prova	62

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Resultados dos ensaios para as peças de umidade em equilíbrio com o ambiente.....	57
TABELA 2 – Resultados dos ensaios para as peças saturadas.....	58
TABELA 3 – Resultados obtidos por CALIL (2002).....	61

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS.....	17
2.1 Objetivos específicos.....	17
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
3.1 Madeira Pinus	18
3.2 Sistemas de estrutura	19
3.2.1 – Sistema construtivo convencional	19
3.2.2 – Sistema construtivo pré-fabricado	20
3.2.3 – Sistema construtivo intermediário.....	21
3.3 Treliças de madeira	22
3.3.1 – Treliças de contorno triangular	23
3.3.2 – Treliça de contorno retangular.....	24
3.4 Ligações de peças estruturais de madeira	25
3.4.1 – ligações por penetração entre peças: encaixes	25
3.4.2 – Ligações com pinos metálicos.....	26
3.4.3 – Ligações com cavilhas de madeira.....	29
3.5 O Sistema de ligação por CDE's	29
3.5.1 – Generalidades do Sistema	29
3.5.2 – Histórico nacional sobre a CDE.....	34
3.6 Resistência das ligações	35
4. MATERIAIS E MÉTODOS	37
4.1 Materiais.....	37
4.1.2 – Conector metálico.....	37
4.1.3 – Equipamentos de preparação para o ensaio	38
4.2 Métodos.....	41
4.2.1 – Caracterização da espécie de madeira	41
4.2.2 – Procedimentos para a criação do dispositivo de ensaio da ligação	41
4.2.3 – Procedimentos para a confecção dos corpos-de-prova	45
4.2.4 – Procedimentos para a execução do ensaio da ligação	55
5. RESULTADOS.....	57
5.1 Peças com teor de umidade em equilíbrio com o ambiente (12% a 18%).....	57

5.2 Peças com teor de umidade maior que 30%.....	58
6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	60
7. CONCLUSÃO	63
7.1 Sugestões para trabalhos futuros.....	63
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

1. INTRODUÇÃO

Os processos construtivos industrializados a base de madeira vêm cada vez mais ganhando espaço e com isso vêm se mostrando altamente interessantes para solucionar os problemas desejados pela população. Podem ser citados dois exemplos de grande importância que são a relação custo-benefício e tempo, pois a madeira pode ser considerada como um material de baixo custo e boa trabalhabilidade. A madeira pinus é uma espécie que se caracteriza dentro dessas especificações, pois pode ser considerada uma madeira leve, fácil de ser usinada e de um custo baixo.

Ainda existe um grande preconceito relacionado a madeira no Brasil, pois muitos acreditam que ela é um material fraco, de baixa resistência e de um custo muito caro. A falta de investimento e até mesmo de preparação das pessoas para trabalhar com este tipo de material, é o que faz o Brasil não crescer em relação a madeira.

Em países mais desenvolvidos como os Estados Unidos, relacionando o grande emprego das estruturas pré-fabricadas e incluindo recomendações de normas para o projeto, análise e execução das específicas estruturas, as construções a base de madeira podem ser feitas em processos muito rápidos e eficientes para uma alta produção.

Dentro desta linha de conectores destacam-se os fabricados pela GANG-NAIL, inventados nos Estados Unidos em 1955 por J. Calvin Jurgit, presidente da Automated Building Components, Inc.

Para a NBR 7190,1997, ainda não existe um método e uma norma que são devidamente classificadas como seguras e de nível correto para o dimensionamento de CDE's.

Atualmente o processo de colocação do conector em base é feito com a madeira já seca, ou seja, o conector é colocado depois que a madeira já passou pelo processo de secagem, foi então que surgiu a ideia de prensar o conector de chapa de dentes estampados antes de a madeira ser seca, pois assim quando a madeira for seca, já com o conector, ele pode tender a fixar melhor na madeira, isso aconteceria, pois a madeira quando é seca ela contrai e pode melhorar a junção dos dentes do conector com a madeira.

Logo este trabalho surgiu pela necessidade de verificar o melhor uso para este tipo de ligação, ou seja, é a definição e sua verificação experimental para ligações em estruturas de madeira por CDE, com ênfase à proposta para a determinação da resistência desta ligação. Este estudo busca ainda a utilização de dois tipos de umidades nos ensaios, pois assim será analisado qual melhor teor de umidade poderá ser utilizado nas estruturas de madeiras com CDE's.

2. OBJETIVOS

O presente trabalho teve como principal objetivo verificar a influência da umidade sobre a resistência em ligações de conectores CDE's (chapa com dentes estampados).

2.1 Objetivos específicos

- Controlar as variáveis do processo como: Secagem da madeira, e os diferentes teores de umidade para que o processo pudesse ocorrer com eficiência.
- Criação de um novo modelo de dispositivo de ensaio para tração perpendicular às fibras.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Madeira Pinus

A madeira pinus, utilizada nos ensaios, foi inspecionada visualmente, a fim de selecionar as madeiras isentas de defeitos, tais como: rachadura; empenamento; perfuradas e com ocorrência de fungos ou organismos xilófagos. A seguir são apresentadas algumas características física, sensoriais e de sanidade biológica, para a espécie de madeira estudada. A Figura 1 mostra o exemplo de pinus serrado.



Figura 1 – Madeira pinus serrada

O Pinus taeda se enquadra em todos os tipos de construções, isso é uma vantagem de grande importância, pois assim mostra a sua variabilidade em relação aos métodos de construções civis utilizados atualmente no Brasil e em outros países.

Além das propriedades físicas e mecânicas, a característica de ser um material de fonte renovável, com os altos índices relacionados à produtividade e a idade de corte ser menor, isso tudo proporcionados pelas condições de solo e clima brasileiros que se mostraram apropriados aos plantios de pinus e demais espécies de que são consideradas de reflorestamento. São constituídos importantes argumentos favoráveis para a utilização do pinus na produção de habitação social, quando contribuem para fazer uma redução nas pressões sobre os remanescentes das florestas nativas. A Figura 2 mostra o exemplo de uma madeira pinus nas vistas longitudinal e transversal.

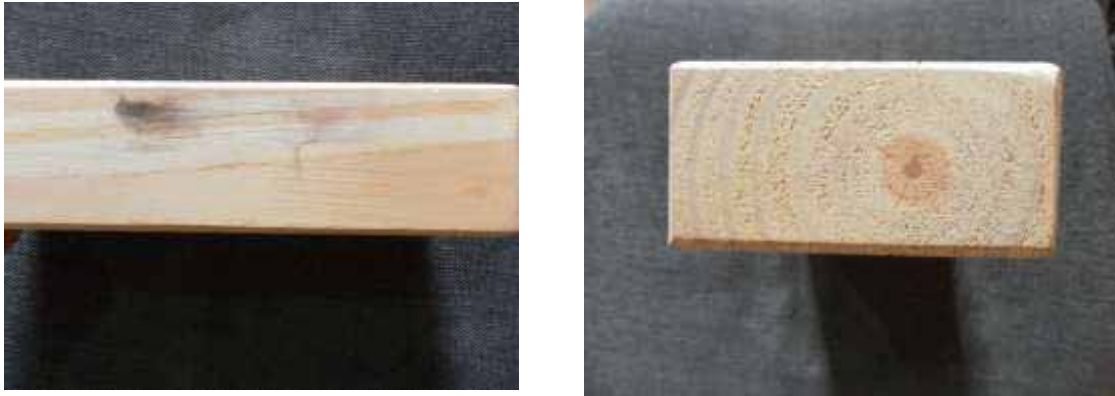


Figura 2 – Madeira pinus com vista longitudinal e transversal respectivamente

A madeira Pinus taeda possui as seguintes características visuais: cerne e albarno indistintos pela cor branco-amarelado e brilho moderado; cheiro e gosto perceptíveis e característicos de resina, também apresenta uma alta permeabilidade às soluções preservantes, podendo assim, ser tratada e empregada em usos de classe com risco de biodeterioração. Pinus é uma madeira susceptível ao ataque de fungos tanto emboloradores, como apodrecedores, porém com cupins e brocas-de-madeira é possível o tratamento. A madeira também é de fácil de ser trabalhada, desdobrada, aplainada, lixada, furada, fixada e colada. Permite bom acabamento e é fácil de secar.

3.2 Sistemas de estrutura

O sistema estrutural de madeira para cobertura de edificações é composto basicamente pelas estruturas principais (tesouras); secundária (terças, caibros e ripas) e de contraventamento.

BARROS (1991) apud ROCCO (2007) descreve alternativas de sistemas construtivos de madeira para as coberturas de edificação, que são: Sistema construtivo Convencional; Pré-Fabricado e Intermediário.

3.2.1 Sistema construtivo convencional

De acordo com MOLITERNO (1981) apud MARTINS (2007) no sistema construtivo convencional, os elementos estruturais de madeira, tais como: tesoura; terças; caibros; ripas e contraventamentos são montados no próprio local da obra,

utilizando ligações com entalhes nas barras comprimidas e ligações com pregos ou parafusos nas barras tracionadas.

A característica principal de estruturas do sistema convencional são as barras dos montantes, das diagonais e dos banzos estarem ligadas em planos diferentes. A Figura 3 mostra um sistema convencional.

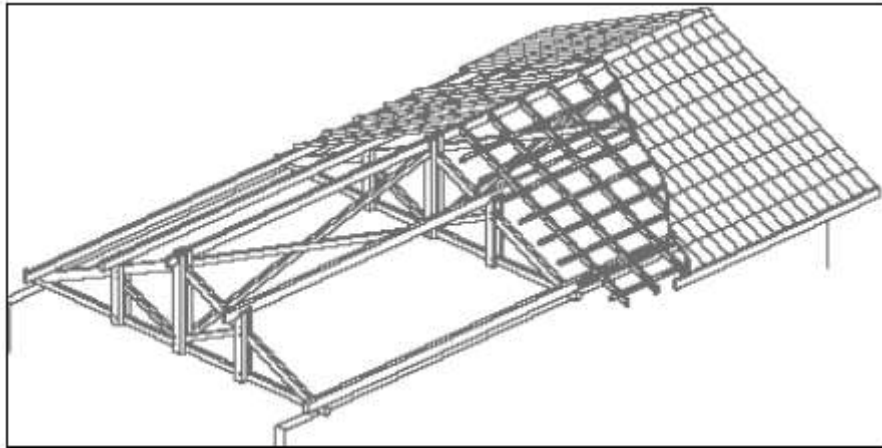


Figura 3 – Estrutura de cobertura no sistema convencional

Fonte: (PARTEL, 2000).

3.2.2 Sistema construtivo pré-fabricado

O sistema construtivo pré-fabricado nada mais é que a produção do sistema fora da área de construção, ou melhor dizendo, a pré-fabricação dentro da fábrica ou do lugar responsável pela montagem das treliças.

Com a evolução da indústria de pré-fabricados detém de tecnologia de arquitetos e responsáveis qualificados para a produção da estrutura, isso causa benefícios como: termos técnicos, funcionais e estéticos, além de rapidez e facilidade de manutenção.

BARROS (1991) apud MARTINS (2007) afirma que a utilização desse tipo de conector exige que todas as barras da estrutura, tracionadas ou comprimidas, tenham a mesma espessura e se situem no mesmo plano de montagem, ao contrário das estruturas do sistema convencional. A Figura 4 ilustra esse tipo de estrutura.

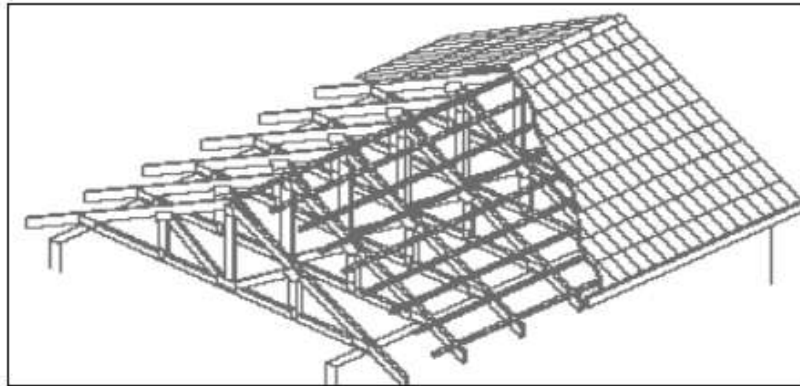


Figura 4 – Estrutura de cobertura no sistema pré-fabricado

Fonte: (PARTEL, 2000)

Com o aumento da quantidade de tesouras, é compensada uma possível redução do volume de madeira, isso é devido à eliminação de terças e caibros, pois assim diminui o peso da estrutura secundária. As tesouras para esse sistema, por elas estarem próximas uma das outras, podem ser menos densas e menos resistentes, pois assim há uma menor área que influencia as ações de projetos em cada tesoura.

3.2.3 Sistema construtivo intermediário

O sistema construtivo intermediário ou sistema misto, como mostra a Figura 5, é caracterizado pela simples substituição da estrutura principal convencional pela estrutura principal pré-fabricada, como por exemplo: componentes secundários e o espaçamento maior entre as tesouras BARROS (1991) apud MARTINS (2007).

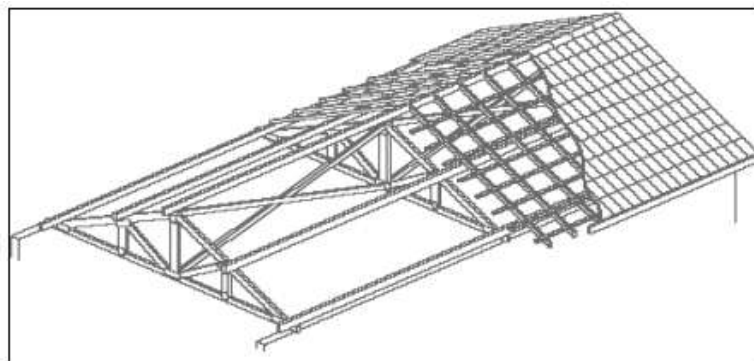


Figura 5 – Estrutura de cobertura no sistema intermediário

Fonte: (PARTEL, 2000)

3.3 Trelças de madeira

Segundo MOLITERNO (1981) apud MARTINS (2007) a treliça de madeira é um sistema estrutural de barras simples situadas num plano e ligadas umas às outras em suas extremidades, através de pinos ou de conectores metálicos, de modo a formar uma cadeia triangular de barras, comportando-se como um sólido rijo, empregadas como uma opção econômica em relação às vigas de alma cheia.

A treliça de madeira que é a mais utilizada na construção de coberturas é a tesoura, como mostra a Figura 6, ela também pode ser definida como viga treliçada de altura variável, pois transfere as ações do telhado aos pilares da edificação.

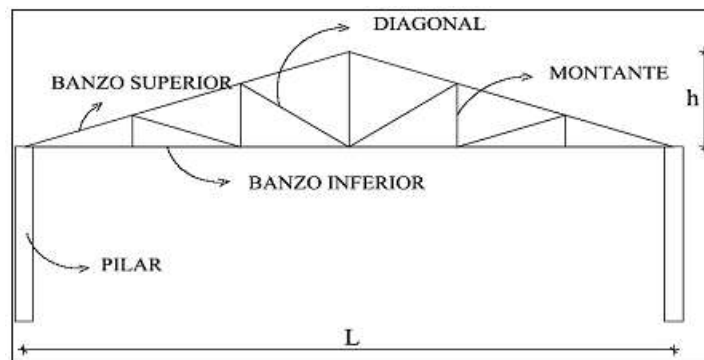


Figura 6 – Elementos básicos constituintes em uma tesoura

Fonte: (PARTEL, 2000)

A tesoura apresenta duas principais vantagens: a primeira está relacionada com a forma geométrica que tende a favorecer o bom escoamento das águas pluviais; a segunda refere-se a boa relação de que a distância entre os banzos, na parte central, é maior do que as extremidades, isso acaba favorecendo a resistência do momento fletor positivo, isso devido ao maior braço de alavanca BARROS (1991) apud MARTINS (2007).

A seguir serão apresentadas algumas características dos principais tipos de treliças que são usualmente utilizadas nos projetos de cobertura em edificações residenciais e comerciais, são elas: treliças de contorno triangular e retangular; e treliça em balanço.

3.3.1 Treliças de contorno triangular

Treliça tipo Howe: ou tesoura com diagonais normais, conforme a Figura 7. Esse tipo de tesoura é a mais comum e a mais empregada para vencer vãos da ordem de até 18m. GESUALDO (2003) apud MARTINS (2007).

Este tipo de tesoura apresenta para o carregamento principal (de cima para baixo), compressão nas diagonais e tração nos montantes.

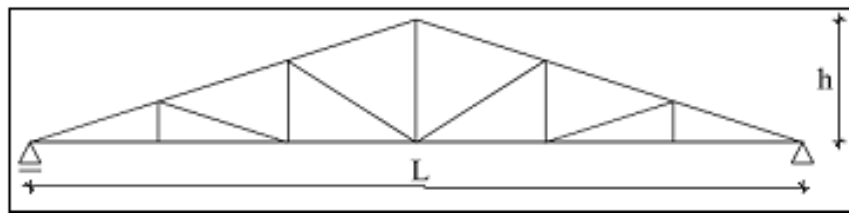


Figura 7 – Tesoura tipo Howe (diagonais normais)

Fonte: (PARTEL, 2000)

Treliça tipo Pratt: ou tesoura com diagonais invertidas, conforme a Figura 8. Esse tipo de tesoura é recomendável para vãos maiores (18m-L-30m) GESUALDO (2003) apud MARTINS (2007).

A princípio as tesouras Tipo Pratt ou tesouras com diagonais invertidas como são chamadas também, são convenientes para quaisquer vão, pois têm a vantagem das peças comprimidas serem de comprimentos menores que as tracionadas.

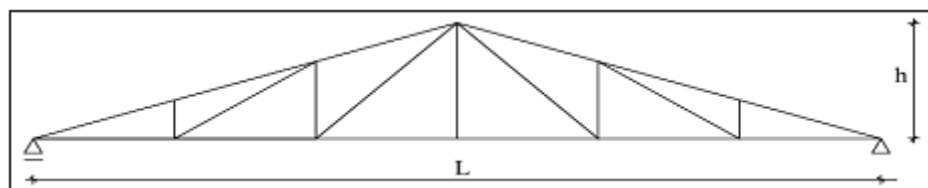


Figura 8 – Tesoura tipo Pratt (diagonais invertidas)

Fonte: (PARTEL, 2000)

Treliça tipo Belga: é considerada como uma variante da treliça Pratt. Os montantes são posicionados perpendicularmente ao banzo superior, obtendo-se melhor distribuição de esforços entre montantes e diagonais

GESUALDO (2003) apud MARTINS (2007). A Figura 9 representa a tesoura tipo Belga.

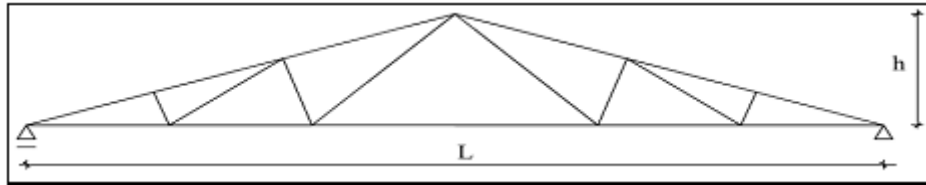


Figura 9 – Tesoura tipo Belga (diagonais invertidas)

Fonte: (PARTEL, 2000)

Treliça tipo Fink: é uma variante da treliça Belga, conforme a Figura 10. Utilizada para vencer vãos maiores, entre (20m - L - 30m) GESUALDO (2003) apud MARTINS (2007).

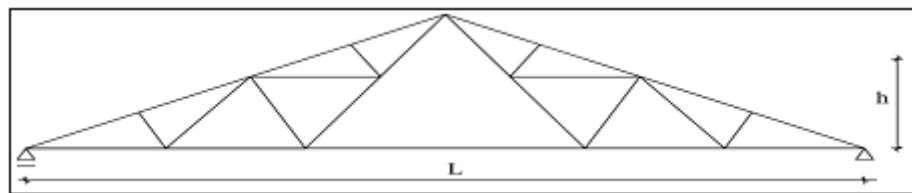


Figura 10 – Tesoura tipo Fink (diagonais invertidas)

Fonte: (PARTEL, 2000)

3.3.2 Treliça de contorno retangular

Este tipo de treliça chamada de viga treliçada, é normalmente usada nas coberturas com características que exigem necessariamente o formato retangular. Para vãos superiores a 20m não são estruturas adequadas GESUALDO (2003) apud MARTINS (2007). Os dois tipos básicos são mostrados na Figura 11.

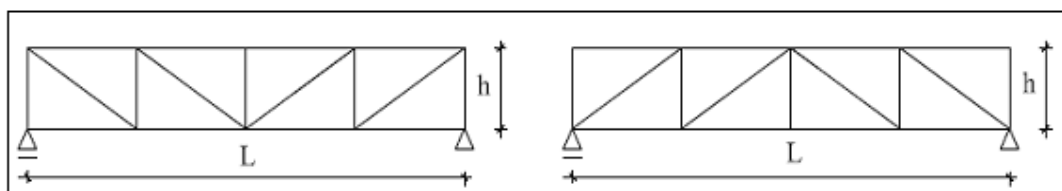


Figura 11 – Vigas treliçadas com diferentes posições das diagonais

Fonte: (PARTEL, 2000)

3.4 Ligações de peças estruturais de madeira

Podem-se dizer as propriedades mecânicas que são consideradas básicas das ligações de peças estruturais de madeira são a rigidez e a resistência, sendo que para a determinação de ambas representa uma importância considerada na etapa do projeto e no dimensionamento das estruturas com madeira, assim também na execução dessas estruturas, pois elas apresentam muitas partes que são interligadas.

Segundo CALIL JÚNIOR (1998) apud ROCCO (1997), podem ser considerados que existem basicamente dois tipos de ligação: por penetração e por aderência. Sendo que as ligações por penetração se caracterizam pela utilização de elementos de ligação, e as forças transmitidas de uma peça para outra convergem geralmente para uma pequena área como em pregos, parafusos. Já para as ligações por aderência são estabelecidas por meio de uma fina película de adesivo, e os esforços são absorvidos por áreas relativamente grandes, formadas pelas superfícies ligadas pelo adesivo.

No item 8.1.1 da Norma Brasileira NBR-7190 (1997) considera três tipos de ligação por penetração entre as peças de madeira, que são: pinos metálicos; cavilhas de madeira e conectores metálicos. Os pinos metálicos correspondem aos pregos e parafusos. As cavilhas são pinos de madeira torneados. Os conectores metálicos podem ser os anéis e as chapas com dentes estampados (CDE). Também podemos citar a ligação a ligação por adesão, que seria a ligação por cola, como por exemplo, a viga colada e a ligação por penetração entre as peças, que no caso seriam os encaixes.

3.4.1 ligações por penetração entre peças: encaixes

As ligações por encaixes são praticadas até hoje, para peças sujeitas apenas à compressão. Para peças tracionadas, como se fazia no passado, não são econômicas, e não é mais utilizada com tanta frequência atualmente. A Figura 12 representa os modelos de encaixe utilizados em estruturas.

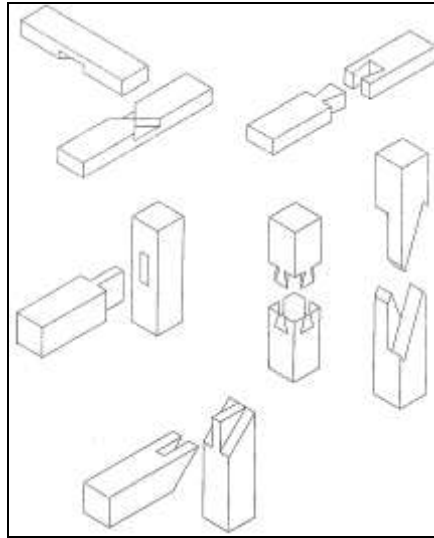


Figura 12 – Modelo de encaixe

Fonte: (UFPR-2007 Estruturas de Madeira)

3.4.2 Ligações com pinos metálicos

Segundo ALMEIDA (1987), o emprego de pregos em ligações estruturais é de dois conceitos. É relacionada na qual a função do pino é manter as peças de madeira em posição ou, em alguns casos, solidarizar as uniões obtidas por entalhe, em que o prego é solicitado ao arrancamento e não ao corte. Para a realização das ligações por entalhe, era necessário o uso de peças muito compridas e de grande seção transversal, cujo trabalho de entalhe requeria grande precisão.

Estudando as ligações pregadas e parafusadas em estruturas de madeira, ALMEIDA (1990) conclui que, geralmente, os pontos que são considerados como críticos das peças são as regiões dessas ligações, pois é onde a concentração de esforços tem que ser controlada. Já melhoria da eficiência das ligações foi o que possibilitou a aplicação racional da madeira em estruturas de grande porte. Com isso essa evolução está ligada, principalmente, ao desenvolvimento e estudo das ligações pregadas e parafusadas. A Figura 13 representa os modelos de ligação por pregos.



Figura 13 – Modelo de ligação por pregos Fonte: (UFPR-2007 Estruturas de Madeira)

Nas ligações com pinos, leva-se em conta a resistência da madeira ao embutimento (esmagamento na área reduzida de contato entre o pino e as peças de madeira), conforme estabelecido em 7.2.7 da NBR-7190 (1997). A Figura 14 exemplifica o mecanismo de apoio do pino sobre a madeira

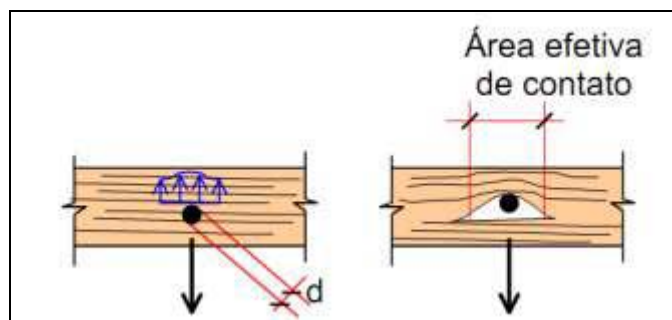


Figura 14 – Mecanismo de apoio do pino sobre a madeira
Fonte: (UFPR-2007 Estruturas de Madeira)

Quanto à ruptura destas ligações, devem ser consideradas as seguintes possibilidades:

a) ruptura da madeira:

a.1) por esmagamento na área de contato pino/madeira :

Esta possibilidade é evitada quando se colocam tantos pinos quanto necessários, para que as tensões de esmagamento não superem a capacidade da madeira ao embutimento, como mostra a Figura 15.

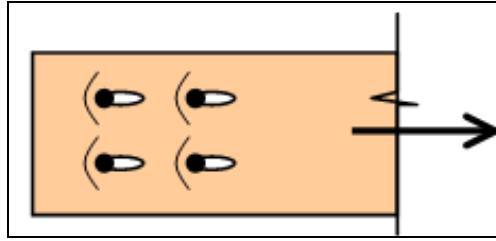


Figura 15 – Ruptura por esmagamento Fonte: (UFPR-2007 Estruturas de Madeira)

a.2) por cisalhamento da madeira :

Esta possibilidade é evitada quando se guardam distâncias suficientes entre os pinos ou aos bordos das peças, na direção da carga, de tal forma que as tensões de cisalhamento não superem a capacidade da madeira ao cisalhamento. A Figura 16 mostra o exemplo de ruptura por cisalhamento.

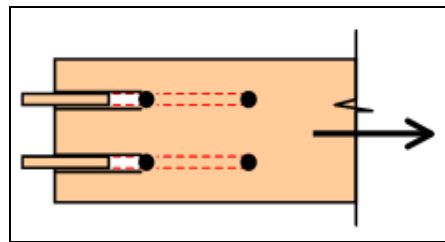


Figura 16 – Ruptura por cisalhamento Fonte: (UFPR-2007 Estruturas de Madeira)

b) por ruptura do pino metálico, por flexão :

Esta possibilidade é evitada quando o diâmetro do pino é suficientemente grosso (grande Inércia) em relação à extensão do carregamento (espessura das peças), de tal forma a limitar a sua flexão, como mostra a Figura 17.

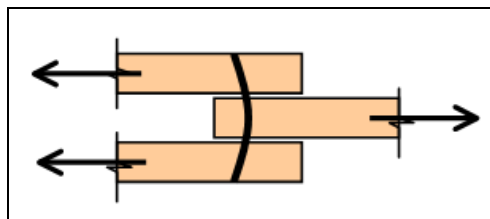


Figura 17 – Ruptura por flexão do pino Fonte: (UFPR-2007 Estruturas de Madeira)

3.4.3 Ligações com cavilhas de madeira

Segundo a NBR-7190, as cavilhas devem ser torneadas, constituídas de madeira dura da classe de resistência C-60, impregnadas com resinas que aumentem sua resistência até que se caracterizem como peças da classe de resistência C-60. A Figura 18 representa os modelos de cavilhas de madeira.



Figura 18 – Cavilha de madeira

Fonte: (UFPR-2007 Estruturas de Madeira)

A resistência total de cada cavilha de madeira em uma determinada ligação é dada pela soma das resistências correspondentes às diferentes seções de corte, em cada elemento de ligação.

Segundo GESUALDO (2003), para uma dada seção de corte, a resistência é determinada em função da resistência f_{c0d} da madeira da cavilha, considerada na sua possível flexão, e da resistência f_{c90d} da mesma, considerada no seu possível esmagamento. Também se considera o diâmetro “ d ” da cavilha e as respectivas espessuras “ t ” das peças envolvidas na ligação, tal como se considera nos pinos metálicos.

3.5 O Sistema de ligação por CDE's

3.5.1 Generalidades do Sistema

Os conectores metálicos por CDE, utilizados nos ensaios são do tipo GNA-80, que foram selecionados aleatoriamente de um lote de produção normal. O processo

de fabricação, do conector CDE, é basicamente caracterizado em desenrolar uma fita de aço com largura e espessura constantes, em seguida, essa fita passa por uma prensa, e, através da estampagem no seu plano, destacam-se os dentes para o plano normal a fita de aço, e, simultaneamente, a fita, já estampada, é cortada no comprimento pré-determinado.

A Norma Brasileira (NBR-7190/97) no item C.7.2 define duas direções longitudinal e transversal da chapa metálica CDE, em relação à direção da aplicação da força, conforme apresenta a Figura 19.

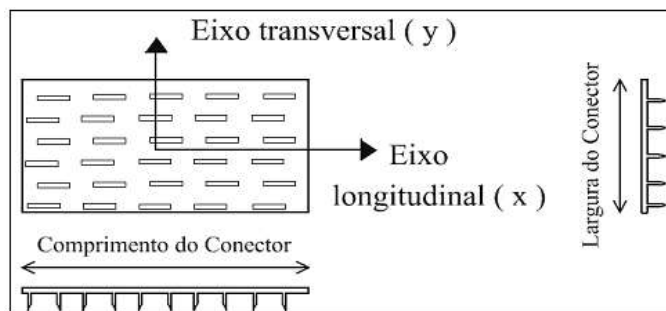


Figura 19 – Direções do conector CDE em relação a direção da força aplicada

Fonte: (NBR-7190/97)

Segundo BARALDI (1996) apud ROCCO (1997) o CDE viabilizou a montagem das tesouras de madeira em escala industrial devidas: à rapidez e na praticidade de execução das ligações com as peças ligadas no mesmo plano, através e prensa pneumática; à boa resistência e rigidez que o conjunto madeira-chapa proporciona; ao melhor aproveitamento da área útil da seção transversal, evitando-se as rachaduras; à qualidade técnica dos projetos e ao bom desempenho para vãos de até 20m. A Figura 20 mostra um sistema estrutural pré-fabricado, com as peças estruturais da treliça de madeira, ligadas por CDE.



Figura 20 – Aplicação industrial do conector CDE em estruturas de madeira

Fonte: (STELLA, 2002)

O sistema com CDE foi criado em 1955 nos Estados Unidos por J. Calvin Jureit (Gang-Nail, 1975), e sua estrutura é composta por ligações e fixações de elementos de madeira através de cobrejuntas metálicas, que foram projetadas para maximizar sua resistência (tração, compressão, flexão e cisalhamento). A inovação recebeu o nome de sistema Gang-Nail e a empresa Automated Building Components, nc. Passou a fabricar e distribuir esses conectores, inicialmente nos Estados Unidos e, em seguida, para países como o Brasil, boa parte da América Latina, Europa e África, sendo a sua primeira patente outorgada em 1959. BARROS (1992) apud MARTINS (2007).

Segundo BARROS (1992), esses conectores são caracterizados como alternativa econômica para a confecção de ligações e assim utilizada em coberturas mais leves com madeira de espécies menos nobres, aplicando-se conceituação diferente de projeto e de construção, utilizando-se peças de menores dimensões, promovendo uma melhor distribuição de cargas e, finalmente, um alívio das tensões atuantes nessas peças, gerando economia de madeira, maior eficiência de montagem e melhor controle de qualidade nas obras. A Figura 21 mostra o exemplo dos conectores usados para os ensaios.

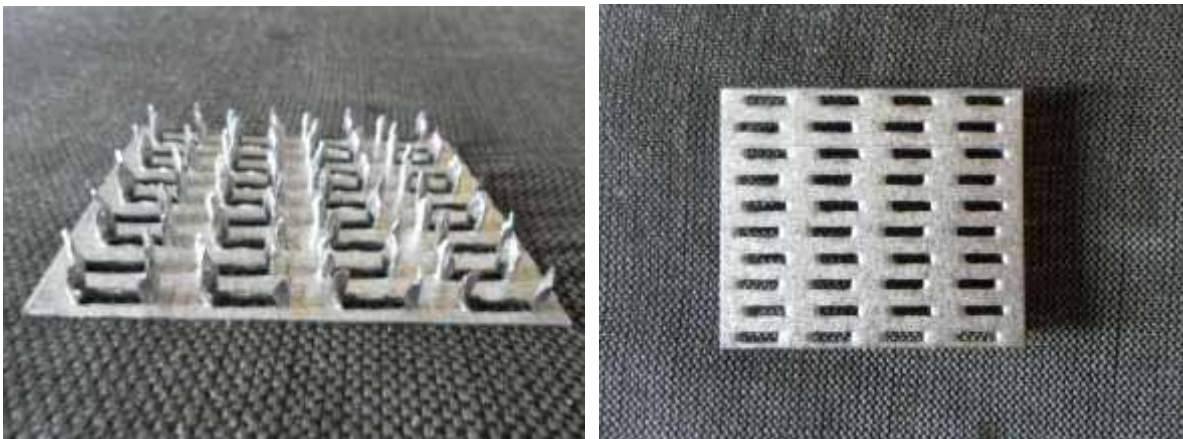


Figura 21 – Exemplo do CDE utilizado nos ensaios

Um importante uso dos conectores de CDE é quando a madeira vai ser seca ela tende a contrair e os conectores metálicos têm a função de evitar rachaduras na madeira, pois assim prejudicaria a qualidade da peça para o seu devido fim. Os conectores são colocados no topo da tora. A Figura 22 mostra um exemplo de secagem com CDE's.



Figura 22 – Exemplo do uso dos conectores CDE para secagem de madeira

Fonte: GANG-NAIL

As CDE são muito empregadas em quaisquer tipos de estruturas treliçadas para cobertura e consagradas por muitos países, em particular nos países da Europa e da América do Norte, e na Austrália. No Brasil, sua utilização não atingiu a mesma intensidade de utilização que os pregos e os parafusos PINHEIRO (1996) apud ROCCO (1997). A Figura 23 mostra o uso da CDE nas treliças, produzidas industrialmente.



Figura 23 – Aplicação industrial do conector CDE em estruturas de madeira

Fonte: GANG-NAIL

Os CDE's possuem uma menor espessura e maior resistência, e tem como uma importante função de solucionar inconvenientes tais como a exigência de pregos ou parafusos de diâmetro e peso elevados, evitam as rachaduras na

madeira, proporcionam a diminuição da área útil da seção transversal das peças e possibilitando como vantagem a possibilidade de se ligar peças menores. A Figura 24 mostra uma estrutura curva que foi conectada por CDE's.



Figura 24 – Estrutura curva com ligações de CDE's

Fonte: GANG-NAIL

Atualmente o CDE apresenta inovações e na Figura 25 é mostrado um novo modelo deste tipo de ligação. Com esse modelo é possível reduzir uma etapa no processo de fabricação das treliças, fazendo assim o processo ser mais rápido e aumentando ainda mais a versatilidade do CDE.



Figura 25 – Esquema de estrutural por CDE

Fonte: GANG-NAIL

3.5.2 Histórico nacional sobre a CDE

UJVARI (1983) desenvolveu um trabalho sobre ligações de madeira por CDE, para calculistas e usuários do sistema Gang-Nail, onde foram definidos alguns critérios e observações a serem feitos no dimensionamento. Alguns dos critérios mais pertinentes estão descritos abaixo:

- Os conectores devem ser colocados aos pares nas ligações, ou seja, em ambos os lados das peças ligadas, e suas posições devem ser idênticas. É necessário colocar somente um par de conectores por nó, inclusive se este for simultaneamente um nó interno e uma emenda de banzo.
- O conector é projetado de tal maneira que sua seção líquida de aço e o número de dentes em cada peça, sejam suficientes para resistir a todas as forças que atuam na ligação, sem que haja arrancamento dos dentes na madeira, cisalhamento ou tração na CDE.
- O número total de dentes, solicitados na peça de madeira a ser ligada, é igual à razão da força de tração, na peça, pela resistência ao arrancamento, nas chapas.
- A dimensão do comprimento do conector, necessária, pode ser obtida pela razão da força de tração e de cisalhamento, na peça, pela resistência à tração, ou ao cisalhamento, em uma das chapas. Para os esforços cisalhantes, deve se tomar como valor da resistência uma atuação em 0°.
- Para prevenir danos devidos à manipulação, transporte ou montagem, deve-se prever como valor mínimo em cada ligação, um número de dentes capaz de resistir a uma força de 1,75 kN.

OLIVEIRA (1988) estudou as ligações por conector CDE, definindo dimensões adequadas dos corpos-de-prova para ensaio de tração. Evidenciou a

necessidade de realizar ensaios variando a inclinação da chapa em relação às fibras da madeira.

De acordo com BARALDI (1996) um método de ensaio para determinação da resistência e da rigidez de ligações em peças estruturais de madeira por CDE e apresentou as dimensões das chapas a serem utilizadas, nos ensaios de arrancamento dos dentes na madeira, cisalhamento e tração da chapa, para algumas espécies de madeira.

3.6 Resistência das ligações

No Brasil, a Norma Brasileira NBR-7190 (1997), nos itens 8.3.1, 8.4.1 e 8.5.1 estabelece que as ligações, em peças estruturais de madeira, sejam consideradas rígidas, e, portanto, dimensionadas para resistir aos esforços solicitantes, determinados através do cálculo convencional.

A dificuldade de normalização do projeto de estruturas de madeira considerando as ligações semi-rígidas, está relacionada à dificuldade de caracterização do comportamento das ligações, principalmente as transmissoras de momento fletor. O surgimento de novos tipos de ligação amplia o campo da pesquisa do comportamento mecânico dessas ligações.

Para a determinação da resistência e da rigidez das ligações, nos ensaios das ligações por CDE, foram adotados os seguintes procedimentos em todos os cinquenta e nove modelos de ligações, dos dois tipos de umidade.

Inicialmente estimou-se a força de ruptura (R_{est}), aplicando-se uma força com velocidade constante da ordem de 0,08 kN/s, através do ensaio monotônico e sem o uso dos relógios comparadores, e com a madeira saturada. A Figura 26 representa o diagrama de carregamento para ensaio de ligação por CDE.

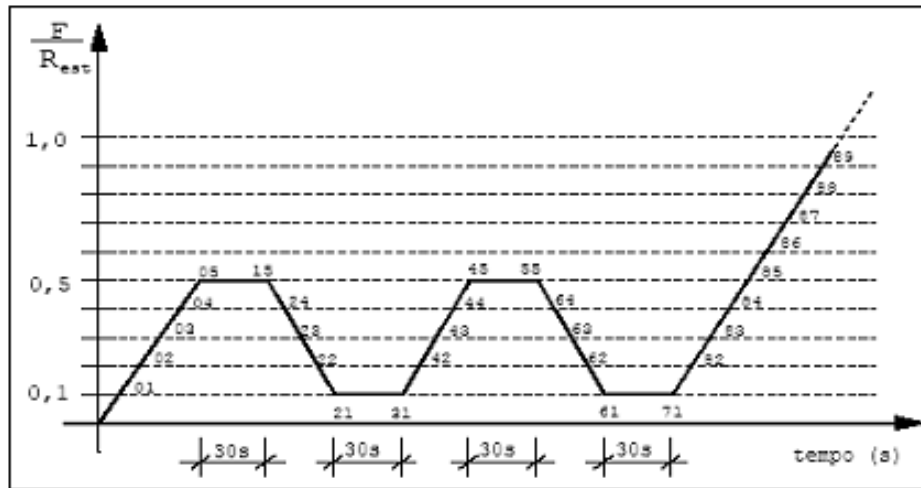


Figura 26 – Diagrama de carregamento para ensaio de ligação por CDE

Fonte: (NBR-7190/97)

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

As peças utilizadas para a confecção dos corpos-de-prova envolveram os seguintes materiais: conector metálico, equipamentos de preparação para o ensaio e as peças de madeira Pinus.

A espécie de madeira estudada é comercialmente utilizada na construção civil da região Sul e Sudeste do Brasil, sendo ela Pinus taeda.

Para o uso dos conectores usados na ligação das peças estruturais de madeira é o CDE, fabricado e fornecido pela empresa Gang-Nail do Brasil, em Itaquaquetuba - SP.

A Madeira já tratada foi fornecida pela empresa Sudoeste Paulista, localizada no município de Itapeva – SP.

4.1.2 Conector metálico

Todas as CDE vieram da fábrica com a altura e a espessura dos dentes da chapa constantes de 7,8mm e 1,3mm, respectivamente; e para as suas dimensões (largura e comprimento) vieram da fábrica com medidas pré-determinadas, conforme estão descritas nos Ensaio Experimentais deste trabalho no item 4.2.3. Os conectores CDE são fabricados com as seguintes especificações e características, fornecidas pelo fabricante:

- Obedece aos requisitos da ASTM A446-72 Grau A
- Tensão à tração: 14,0 kN / cm²
- Cisalhamento de cálculo: 9,8 kN / cm²
- Limite de escoamento: 23,2 kN / cm²
- Limite de resistência à tração: 31,6 kN / cm²
- Número de dentes: 1,5 dentes / cm²
- Peso: 1,0 g / cm²
- Espessura: 1,3mm (podendo variar até o máximo de 1,4 mm)
- Comprimento dos dentes: 7,8 mm

Para ação do efeito de um projeto, são especificados pelo fabricante os seguintes valores de resistência, para um par de conector:

- Tração longitudinal: 2,1 kN / cm de largura do conector
- Tração transversal: 1,0 kN / cm de comprimento do conector
- Cisalhamento longitudinal: 0,8 kN / cm de comprimento do conector
- Cisalhamento transversal: 1,7 kN / cm de largura do conector

4.1.3 Equipamentos de preparação para o ensaio

Nos ensaios de caracterização física da espécie Pinus, foi utilizado um medidor de umidade M51 da marca Marrari para a determinação do teor de umidade das peças como mostra a Figura 27. Paralelo a essa medição, foram feitas análises visuais para a eliminação dos corpos-de-prova que apresentavam defeitos como: nós, empenamento e rachaduras.



Figura 27 – Medidor de umidade da marca Marrari

Com a máquina universal de ensaios (marca EMIC capacidade máxima de 300 kN), para as forças de compressão e tração, instalada no Laboratório de propriedades mecânicas da Unesp no Campus experimental de Itapeva, realizou-se a caracterização mecânica de máxima resistência da espécie de madeira Pinus, conforme a Figura 28.



Figura 28 – Máquina de ensaio laboratorial EMIC com capacidade máxima de 300 kN

Para o processo de secagem dos corpos-de-prova foi utilizada uma estufa de secagem em escala laboratorial do laboratório de propriedades mecânicas da Unesp no Campus experimental de Itapeva.

A estufa de secagem é um equipamento que tem a função de secar as madeiras, ou seja, diminuir o seu teor de umidade, como isso pode ser controlado alguns fatores, como por exemplo: tempo de secagem, temperatura de secagem e até mesmo a contração da madeira. A Figura 29 representa o modelo de estufa de secagem utilizado no processo dos ensaios.



Figura 29 – Estufa de secagem do laboratório de propriedades mecânicas

As prensagens dos conectores CDE, nas peças de madeira, foram utilizadas uma prensa manual da marca Ribeiro com capacidade máxima de prensagem de 15 toneladas, como mostra a Figura 30. A prensa manual foi cedida pelo laboratório de usinagem da Unesp no Campus experimental de Itapeva.



Figura 30 – Prensa manual da marca Ribeiro do laboratório de usinagem

Para a furação da base dos corpos-de-prova, foi utilizada uma furadeira horizontal fornecida pela serraria da Unesp de Itapeva. Para a fixação do conector, foi utilizada uma broca de 12 mm de diâmetro para fazer a furação dos corpos-de-prova. A Figura 31 exemplifica a modelo da furadeira horizontal.



Figura 31 – Furadeira horizontal utilizada na furação dos corpos-de-prova

4.2 Métodos

A espécie de madeira pinus foi caracterizada fisicamente, de acordo com os métodos de ensaio especificados no anexo B da Norma Brasileira NBR-7190/97. Porém para o dimensionamento das peças do corpo de prova não foi seguido nenhuma norma, isso por causa das limitações que o laboratório impôs sobre os ensaios.

4.2.1 Caracterização da espécie de madeira

Nos ensaios de caracterização mecânica da espécie de madeira Pinus, observou-se a resistência à tração perpendicular às fibras. Nesse ensaio, foram utilizadas peças de madeira saturadas, ou seja, com teor de umidade igual ou superior a 30% e peças de madeira com teor de umidade equilibrado com o ambiente, ou seja, de 12% a 18%.

Foram feitos ensaios com peças saturadas por elas apresentarem menor variabilidade de suas propriedades de resistência e elasticidade.

As peças saturadas com tratamento em CCA foram fornecidas pela empresa Sudoeste Paulista Madeiras. CCA é uma Mistura de sais de CuO (Óxido de Cobre), Cr²O³ (Trióxido de Cromo) e Arsênio. O tratamento da madeira é considerado tóxico para seres humanos e deve-se tomar o devido cuidado no manuseio e contato direto com o preservante.

Para as peças de teor de umidade em equilíbrio com o ambiente, utilizou-se o método de secagem em estufa. Para o presente trabalho foi utilizada um estufa laboratorial para que os corpos de prova chegassem a um teor de umidade de 12 a 18%, pois as peças estavam saturadas.

4.2.2 Procedimentos para a criação do dispositivo de ensaio da ligação

Para os ensaios de tração normal às fibras, devido à geometria do corpo-de-prova ser em forma geométrica de “T”, foi necessário planejar e construir um dispositivo de ensaio que se adaptasse e resistisse à máquina universal de ensaios (EMIC) do laboratório de propriedades mecânicas da Unesp de Itapeva, conforme

mostra a Figura 32. Esse dispositivo permitiu que uma peça de madeira ficasse perpendicular a outra peça, sem o surgimento de excentricidades significativas.

Verificou-se na Figura 32 que as peças foram fixadas com parafusos, pois estes eram o que possuíam a função de unir o dispositivo de ensaio com a madeira. Assim, foram feitos três furos para garantir o não rompimento da madeira.

Criaram-se dois tipos de conectores, um inferior e outro superior. O dispositivo superior fez o suporte de encaixe com os parafusos na posição horizontal, já o dispositivo inferior serviu como base de fixação para os parafusos colocados na vertical com apoio de porcas em sua base final.



Figura 32 – Modelo do suporte para ensaio.

De acordo com a Figura 33, foi usinada uma peça de aço galvanizado com dimensões aproximadas 0,5 mm de espessura, 50 mm de largura e 150 mm de comprimento. Fazia-se necessário que a peça encaixasse na madeira de modo que pudessem ser passados os parafusos pelo conector e pela madeira assegurando o encaixe desse ponto. Junto com esse processo foi soldado uma peça do mesmo material e espessura na parte inferior, sendo essa de forma retangular e com a função de fazer um suporte para o encaixe com a máquina de ensaio. Ressalta-se que essa peça foi soldada no conector inferior e superior. A Figura 33 mostra o suporte soldado no conector.



Figura 33 – Exemplo do dispositivo superior para encaixe na máquina de ensaio (EMiC)

Para o posicionamento dos furos do conector, não foi seguido nenhuma norma ou cálculo. Para fazer os furos do conector foi utilizada a furadeira vertical da serraria da Unesp de Itapeva, fazendo três furos no conector. A Figura 34 exemplifica a furação.



Figura 34 – Furação do conector para ensaio

Na Figura 35 é possível observar o posicionamento dos furos no conector. Foi utilizado esse posicionamento de furação para que houvesse maior resistência da madeira em relação aos parafusos, já que estes estariam conectados na mesma direção das fibras da madeira, não correndo risco de romper a ligação no local onde foram colocados os parafusos ao invés de onde estão os conectores CDE's.



Figura 35 – Exemplo do dispositivo utilizado nos ensaios na parte superior

Para a peça que é conectada na parte inferior do corpo-de-prova, foi utilizada uma peça igual a superior, porém com um alongamento em sua base, a peça foi projetada para um comprimento igual o da madeira (15 cm), e então foram feitos um furo em cada lado nas extremidades, aonde foram passados os parafusos. Como mostra a Figura 36. Podem ser observado também na Figura 36 que foram colocadas porcas junto a ligação dos parafusos com os dispositivos, as porcas tinham a função de prender os parafusos na região de base (alma) do conector.

Foram utilizadas duas peças de seção quadrada de 5 x 5 cm e espessura de 0,5 mm e também de aço galvanizado para apoio das cabeças dos parafusos. As peças foram escolhidas pelo fato de que o material dos parafusos é considerado como “muito rígido” e a madeira um material “mole”, de modo que no momento do ensaio, o parafuso poderia penetrar no corpo-de-prova e não concluir com sucesso os resultados dos ensaios. A Figura 36 demonstra o modelo do conector com as chapas de apoio utilizados na parte inferior do dispositivo de ensaio.



Figura 36 – Dispositivo conectado na parte inferior dos corpos-de-prova

O parafuso utilizado nos ensaios tem o diâmetro de 12 mm de cabeça sextavada e com porca para o procedimento do mesmo na base do dispositivo. O comprimento era de aproximadamente 100 mm e possuía uma rosca parcial em sua base. A Figura 37 representa o modelo do parafuso utilizada nos ensaios.



Figura 37 – Parafuso utilizado para fixação dos corpos-de-prova com o dispositivo

4.2.3 Procedimentos para a confecção dos corpos-de-prova

Para o estudo dos ensaios da ligação por CDE, os corpos-de-prova foram confeccionados em função do modo de ruptura. Em vista de uma melhor simplificação nas nomenclaturas desses modos, a seguir, será descrita a definição do modo de ruptura.

No ensaio de tração perpendicular as fibras, o corpo-de-prova é composto por duas peças unidas uma perpendicular a outra, formando assim uma forma geométrica em forma de “T”. As dimensões da peça de madeira para o elemento transversal (mesa) devem apresentar uma seção transversal com altura de 10cm e largura de 5cm, e o comprimento de 15cm. As dimensões da peça de madeira para o elemento longitudinal (alma) seguem as mesmas dimensões do elemento transversal (mesa). A Figura 38 mostra as dimensões, em cm, das peças de madeira, utilizadas no ensaio de arrancamento normal às fibras.

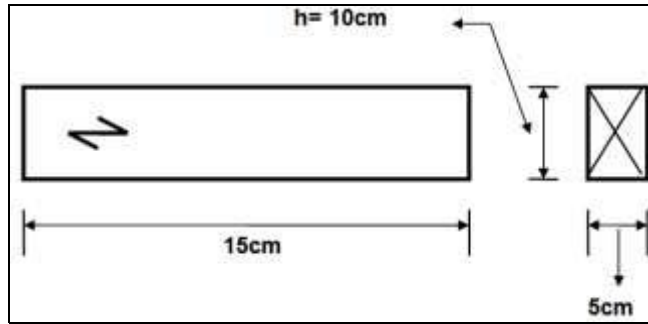


Figura 38 - Descrição das peças de madeira para ensaio de tração perpendicular as fibras da madeira Fonte: Adaptado de CALIL (2002)

As dimensões do conector (comprimento x largura) foram calculadas para que a ruptura ocorresse por arrancamento dos dentes do conector da peça de madeira na transversal sem que houvesse o arrancamento dos dentes do conector da peça longitudinal do corpo-de-prova, ruptura da madeira por tração paralela às fibras ou ruptura do conector em sua seção resistente. Os conectores foram dimensionados com uma dimensão de 7 x 8 cm com um total de 160 dentes, considerando a utilização de dois conectores de 80 dentes por corpo-de-prova. A figura 39 representa o modelo do conector.

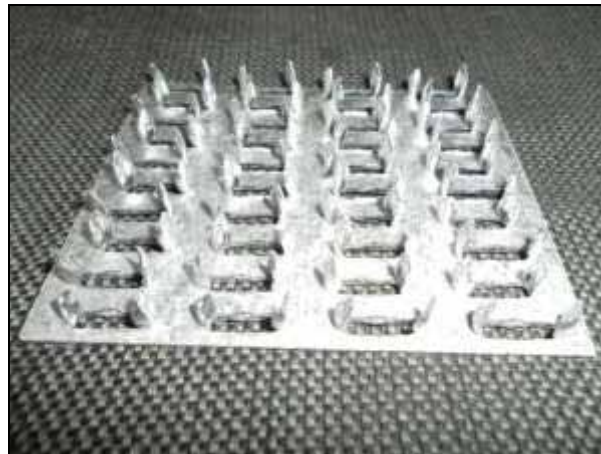


Figura 39 – Modelo do CDE utilizado no processo de ensaio.

O ensaio foi realizado através da aplicação de uma força de tração perpendicular à peça transversal do corpo-de-prova. A Figura 40 pode representar como a base de projeto para a montagem do corpo-de-prova.

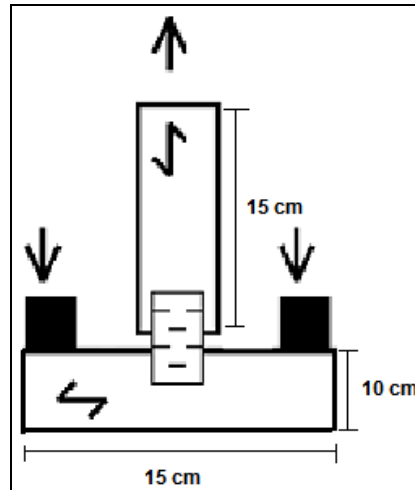


Figura 40 – Corpo de prova para ensaio de tração perpendicular as fibras da madeira Fonte: Adaptado de CALIL (2002)

Para a montagem e preparo dos corpos-de-prova da ligação por CDE, foram feitas as seguintes etapas:

- **Primeira etapa:** As peças de madeira foram cortadas, nas dimensões supracitadas citadas no item 4.2.3 e todas estavam com teores de umidade acima de 35%, o processo de secção das peças de madeira foi feito por uma máquina esquadrejadeira da marca Verry que foi fornecida pela serraria da Unesp no Campus de Itapeva, a Figura 41 representa o modelo da máquina utilizada.



Figura 41 – Máquina esquadrejadeira

Na própria máquina esquadrejadeira, a mesma foi ajustada para o corte exato nas dimensões, pois assim evitaria qualquer diferença nas

dimensões e consecutivamente nos ensaios. Os cortes foram feitos antes de serem ligadas pelos conectores CDE. A Figura 42 mostra o exemplo de como foram feitos os cortes já nas dimensões requeridas.



Figura 42 – Corte da madeira nas dimensões desejadas

- **Segunda etapa:** Com a utilização de uma furadeira vertical, as peças foram furadas para que o dispositivo de ensaio da ligação pudesse ser colocado de acordo com o projeto. Para a marcação e ajuste de posicionamento dos furos, foi utilizado o próprio dispositivo de ensaio, onde foram feitos os furos de acordo com o diâmetro exato do furo dos dispositivos, que era de 12 mm) pois então foi utilizada uma broca de 12mm para a furação da madeira. A Figura 43 mostra como foram feitos os furos na madeira.



Figura 43 – Furação para encaixe do suporte de ensaio.

- **Terceira etapa:** Depois de feita a furação das peças cortadas nas dimensões requeridas, as mesmas foram levadas para um tanque localizado no laboratório de propriedades mecânicas e ficaram imersas em água durante um dia. Esse processo foi realizado, pois era desejado que as peças estivessem saturadas, ou seja, com umidade acima de 30%, antes de serem prensadas com o conector, sendo que se ficassem expostas ao ar livre, perderiam a sua umidade e prejudicaria o processo de ensaio e consecutivamente os resultados requeridos. A Figura 44 detalha como as madeiras foram dispostas e como foi feito o processo.



Figura 44 – Peças já furadas imersa no tanque do laboratório de propriedades mecânicas

- **Quarta etapa:** Depois de mantidas no tanque, as peças foram levadas para que os conectores metálicos pudessem ser prensados e assim unir as peças de madeira formando os corpos-de-prova. A máquina de prensagem da marca Ribeiro era manual e a força colocada sobre os conectores foi feita por uma “alavanca”, como mostra a Figura 45.



Figura 45 – Alavanca da prensa manual utilizada para a prensagem dos corpos-de-prova

Todos os modelos de corpos-de-prova foram montados a partir de um par idêntico de CDE, um de cada lado da peça, e estas foram fixadas simetricamente para evitar os efeitos de excentricidade nas ligações. A Figura 46 mostra o exemplo de posicionamento do CDE para a prensagem.



Figura 46 – Modo de prensagem dos conectores CDE

Ressalta-se também que foi utilizada uma chapa de aço cedida pelo laboratório de usinagem e automação na Unesp de Itapeva. Uma chapa de aço carbono com cerca de 5 mm de espessura, comprimento e largura de 20 e 15 cm respectivamente, foi colocada sobre o conector para que a força de aplicação pudesse ser distribuída por todo o conector e não apenas em um

ponto, pois assim a fixação ficaria desuniforme e poderia prejudicar os resultados dos ensaios. A Figura 47 e 48 exemplifica a realização do o processo.



Figura 47 – Chapa utilizada no processo de prensagem



Figura 48 – Prensagem dos corpos-de-prova

Como a máquina era manual, a calibragem exata da força aplicada em cada corpo-de-prova era muito difícil, pois então foi utilizada uma força de prensagem de aproximadamente 4,5 ton para todos os corpos-de-prova, a Figura 49 representa a calibração da força aplicada.



Figura 49 – Calibração da força aplicada em cada corpo-de-prova

Após o processo de prensagem, os corpos-de-prova estavam prontos para ir para a próxima etapa, a furação em sua base (alma). A Figura 50 mostra os modelos prontos já fixados e ainda saturados.



Figura 50 – Corpos-de-prova depois do processo de prensagem

- **Quinta etapa:** Após o processo de prensagem, os corpos-de-prova foram levados para serem feitas furações em sua base (alma) para o encaixe do dispositivo. A furação foi realizada em uma furadeira horizontal da marca Verry cedida pela serraria da Unesp de Itapeva. A Figura 51 representa a máquina que foi utilizada na furação.



Figura 51 – Furadeira horizontal utilizada na furação dos corpos-de-prova

Antes de serem furados os corpos-de-prova foram marcados na posição exata de onde os mesmos iriam ser furados, logo depois os corpos-de-prova foram posicionados de maneira que a furação fosse feita entre as duas peças dos dois lados. Foi utilizada uma broca de 12 mm de diâmetro (medida exigida pelo conector projetado). Também foi utilizado um suporte para manter o corpo-de-prova junto à mesa de apoio da furadeira, pois assim a furação ficaria mais segura e precisa. A Figura 52 mostra como o posicionamento do corpo-de-prova.



Figura 52 – Modelo de furação da base (alma) dos corpos-de-prova

- **Sexta etapa:** Uma vez que os ensaios foram feitos com diferentes teores de umidade, as peças que estavam saturadas foram levadas para a máquina de ensaio para já serem ensaiadas, enquanto as outras peças foram levadas para a estufa de secagem para que atinjam um teor de umidade de 12% a 18%, ou seja, um teor em que as peças estejam em equilíbrio com o ambiente. O processo de secagem foi verificado de seis em seis horas durante dois dias, isso foi feito para que as peças não sequem demais causando rachaduras e empenamentos e para não ultrapassassem o teor desejado. Pois então quando foi atingido o valor de umidade de 12 a 18%, os corpos de prova foram retirados da estufa para assim serem ensaiados. A Figura 53 mostra a estufa utilizada na secagem das peças.



Figura 53 – Estufa de secagem utilizada no processo de secagem dos corpos-de-prova

- **Sétima etapa:** Depois de prensados, e, já secos os que eram desejados, os corpos-de-prova foram levados para serem ensaiados. Antes de serem ensaiados passaram por uma vistoria e com um medidor de umidade foi verificado se a umidade estava correta, ou seja, maior que 30% ou com 12% a 18%. A Figura 54 representa o modo de verificação do teor de umidade dos corpos-de-prova.



Figura 54 – Verificação da umidade antes do corpo-de-prova ser ensaiado.

4.2.4 Procedimentos para a execução do ensaio da ligação

Antes de serem ensaiados os corpos-de-prova passaram pelo processo de montagem em relação ao dispositivo, ou seja, os corpos-de-prova foram “encaixados” no dispositivo para poder assim ser ensaiados.

Primeiramente foram colocados três parafusos e suas respectivas porcas na horizontal interligando a madeira e o conector, e com uma chave de boca foram apertados as porcas com os parafusos.

No dispositivo inferior foram colocados dois parafusos junto à chapa e as porcas e com a chave de boca foram apertadas as porcas junto aos parafusos e conector.

Os dois processos de colocação das porcas foram feitos com o objetivo fazer com que os parafusos não se desloquem da madeira, fazendo com que não ocorresse nenhum desvio nos resultados dos ensaios.

Para a determinação da resistência da ligação nos ensaios das peças por CDE, adotaram-se diferentes procedimentos em todos os modelos de ligações, de cada teor de umidade da madeira.

Inicialmente foi colocado um corpo de prova e estimou-se a força de ruptura (R_{est}), aplicando-se uma força com velocidade constante da ordem de 0,08 kN/s, através do ensaio monotônico e sem o uso dos relógios comparadores, e com a madeira saturada. A Figura 55 mostra o modo que os corpos-de-prova foram ensaiados.



Figura 55 – Corpo-de-prova sendo ensaiado

Após analisar que o resultado do ensaio conferia com o que era desejado, iniciou-se os ensaios com os diferentes teores de umidade. A Figura 56 exemplifica como ficou um dos corpos-de-prova após os ensaios.



Figura 56 – Resultado do teste do corpo-de-prova

5. RESULTADOS

Neste item serão apresentados os resultados dos ensaios das 54 peças submetidas à tração normal. Foram feitos vinte e cinco ensaios para os corpos de prova que foram secos e vinte e nove para os corpos de prova saturados. Inicialmente os ensaios eram para ser feitos com 30 corpos-de-prova para cada tipo de umidade, totalizando 60 corpos-de-prova, porém alguns foram descartados por a madeira junto com os conectores apresentarem alguns defeitos como: rachaduras, mau posicionamento do conector na ligação, presença de medula junto ao conector, má prensagem dos conectores na madeira e o aparecimento de fungos emboloradores. Esses defeitos poderiam acarretar em um resultado abaixo do esperado e com isso prejudicaria o resultado final do trabalho.

Para os resultados dos dois tipos e umidade, foram analisadas as principais variáveis do processo de ensaio, como: quantidade de corpos-de-prova, Média das forças, Mediana das forças, Desvio Padrão, Coeficiente de variação, Força mínima, Força máxima e a Resistência obtida por dente do CDE.

5.1 Peças com teor de umidade em equilíbrio com o ambiente (12 a 18%)

Para as peças com teor de umidade de 12 a 18%, os resultados estão na tabela 1 com as forças em Kgf, exceto a resistência por dente, que está em KN / dente. A Tabela 1 representa os respectivos valores de cada variável do ensaio proposto.

<i>Variáveis</i>	<i>Resultados</i>
Número CPs	25
Média	987.2 kgf
Mediana	955.5 kgf
Desvio Padrão	218.6 kgf
Coeficiente de Variação	22.15 %
Mínimo	639.8 kgf
Máximo	1511 kgf
Resistência por dente (Média)	0.0605 kN / dente

Tabela 1 – Resultados dos ensaios para as peças de umidade em equilíbrio com o ambiente

Para entender melhor o resultado dos corpos-de-prova, foram criados gráficos, com isso pode ser analisado melhor o rendimento de cada variável em função de seus resultados obtidos através dos ensaios.



Gráfico 1 – Resultados das variáveis do teor de umidade de 12 a 18%

5.2 Peças com teor de umidade maior que 30%.

Para as peças saturadas, os resultados das variáveis obtidos nos ensaios, estão na Tabela 2 com as forças em Kgf e a resistência em kN / dente.

Variáveis	Resultados
Número CPs	29
Média	856.4 Kgf
Mediana	882.7 Kgf
Desvio Padrão	158.9 Kgf
Coefficiente de Variação	18.56 %
Mínimo	467.7 Kgf
Máximo	1121 Kgf
Resistência por dente (média)	0.0525 kN / dente

Tabela 2 – Resultados dos ensaios para as peças saturadas

O Gráfico 2 mostra os resultados das forças máxima de ruptura resultadas de cada variável de ensaio.

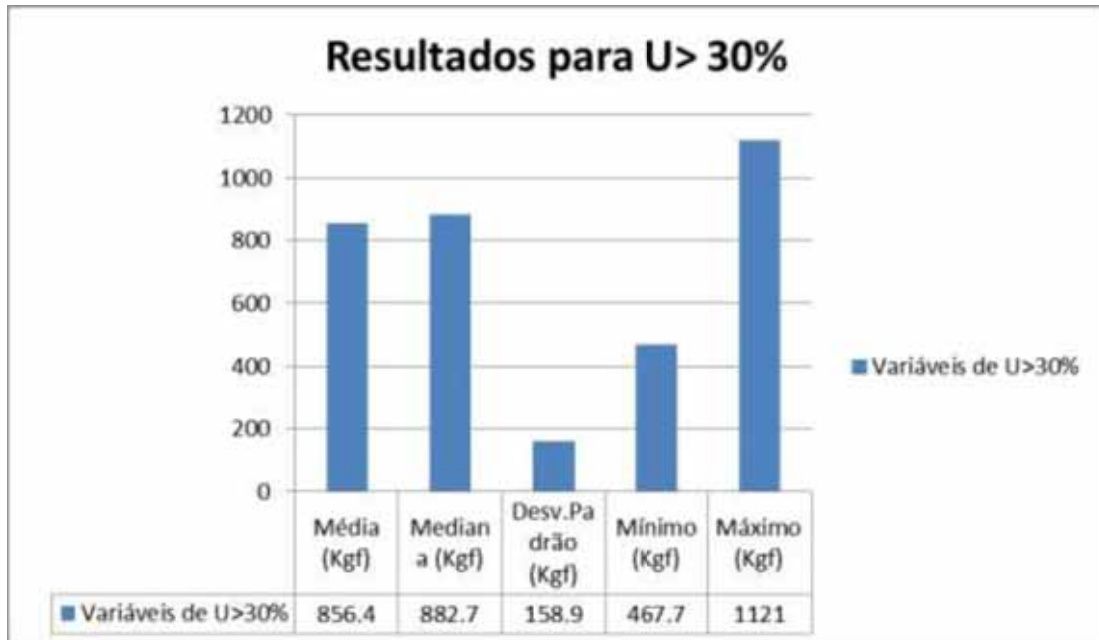


Gráfico 2 – Resultado das variáveis para as peças saturadas

6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para uma melhor visualização foi criado um gráfico comparativo das diferenças entre os dois tipos de umidade, o Gráfico 3 representa a diferença de valores entre os dois ensaios.

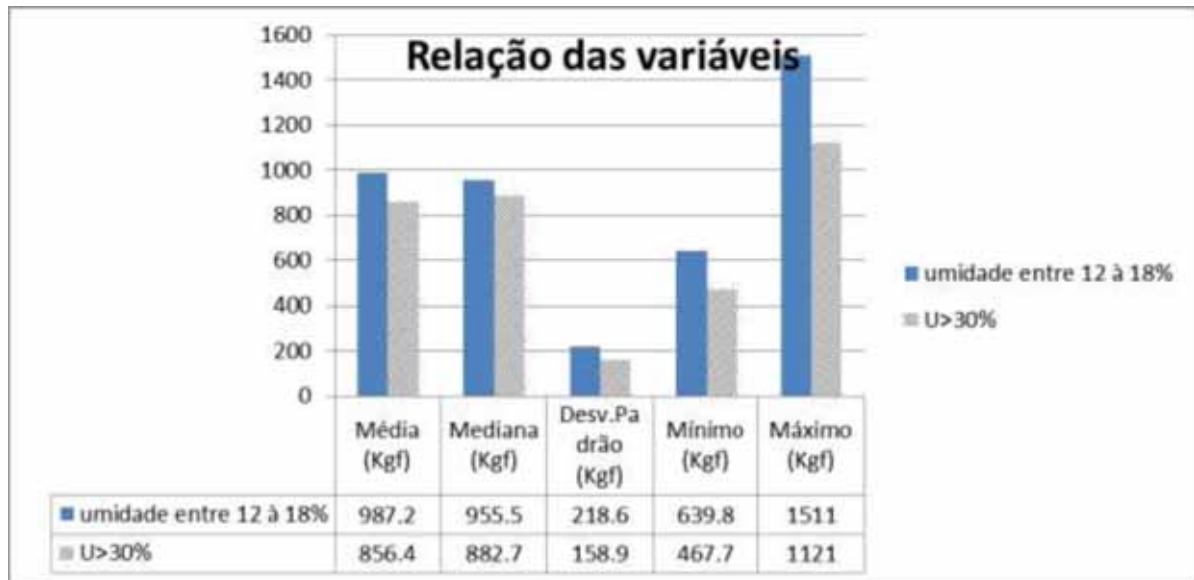


Gráfico 3 – Gráfico comparativo entre as peças saturadas e umidade de 12 a 18%

Nota-se no Gráfico 3 que não houve uma grande diferença entre os dois tipos de umidade, isso pode ser explicado citando que todas as peças que foram secas, deveriam ter sido secas a aproximadamente 12% pois é o que a NBR/7190 afirma

Ainda não se tem uma conclusão concreta com relação ao motivo de alguns corpos-de-prova terem atingido valores altos e outros valores muito baixos do esperado. Alguns motivos para os resultados que foram considerados baixos podem ser citados, como por exemplo: presença de medula, que reduz a resistência da madeira e consecutivamente a resistência do conector; a má prensagem do conector, que faz com que o mesmo perca a precisão de fixação da madeira e assim perdendo sua resistência na ligação; rachadura na madeira, que também afetam a resistência da ligação e até mesmo pelo dispositivo não ter sido colocado corretamente no momento do ensaio.

De acordo com estudos feitos por CALIL (2002), os resultados obtidos para o pinus foi de 0,07 KN/dente, como mostra a Tabela 3, sendo analisado o ângulo de 0°. Pode-se observar na tabela que os resultados ficaram acima do que é

recomendado para todos os ângulos das chapas. Diante de alguns estudos percebeu-se que não havia diferença significativa em relação ao ângulo da chapa, então foi escolhido o ângulo de 0° apenas por apresentar uma menor rigidez e sendo assim o ângulo mais crítico em relação aos resultados.

Ensaio	CHAPA	RIGIDEZ (kN/mm)	Ruptura	Resistência (NBR 7190, 1997)
Arrancamento ($\alpha=0^\circ$)				
$\alpha_{CH}=0^\circ$	7x8 (160 dentes)	31,5	0,07kN/dente	0,05 kN/dente
$\alpha_{CH}=45^\circ$	7x8 (160 dentes)	38,1	0,08kN/dente	0,06 kN/dente
$\alpha_{CH}=90^\circ$	7x8 (160 dentes)	35,3	0,08kN/dente	0,05 kN/dente

Tabela 3 – Resultados obtidos por CALIL (2002).

Para os resultados obtidos nesse trabalho pode ser observado nas Tabelas 1 e 2, que tanto para os ensaio das peças saturadas, como os ensaios para as peças secas, ambos os métodos superaram o requisito da NBR 7190 (1997), ou seja, obtiveram um valor acima de 0,05 kN/dente. Pode ser notado também que o coeficiente de variação para as peças de teores de 12 a 18% estão um pouco alto, representando o valor de 22,15%, isso pode ser explicado pelo da grande variação do teor de umidade referente aos corpos-de-prova, sendo que os que estavam mais secos tendem a resistir mais.

Pode ser verificados também que houve uma variação muito pequena nos valores ruptura, como mostra o Grafico 3, que mostra uma idéia geral dos dois tipos de ensaio. Isto pode ser atribuído ao fato de se tratar de uma ruptura dependente somente da chapa de aço, desde que esteja garantido um número de dentes suficientes para impedir o arrancamento da chapa da peça de madeira, mesmo que não totalmente, ou a ruptura da madeira.

Alguns corpos-de-prova apresentaram ruptura no ponto de fixação do dispositivo de ensaio. Devido à baixa resistência do Pinus ao arrancamento da chapa e ao embutimento, não foi possível a ruptura da chapa, pois em todos os ensaios a ruptura se deu por arrancamento da chapa ou ruptura da madeira no ponto de fixação do dispositivo. A Figura 57 exemplifica o resultado do rompimento no dispositivo.



Figura 57 – Ruptura no ponto de fixação do dispositivo

Para os resultados em que a madeira rompeu na seção do conector, a ligação apresentou uma deformação muito grande devida à flexão dos dentes mesmo com cargas pequenas, mostrando tratar-se de uma ligação deformável, como mostra a Figura 58.



Figura 58 – Exemplo de deformação do corpo de prova.

7. CONCLUSÃO

O método de ensaio proposto mostrou-se adequado e serve de base para a aferição de critérios de dimensionamento de ligações em estruturas de madeira por CDE.

Os resultados da resistência em função dos dentes da chapa estão dentro de critério de dimensionamento da NBR-7190/97. Alguns corpos-de-prova obtiveram valores muito baixos do esperado, isto pode ser explicado pela presença de medula, nó e rachaduras pré-existentes. Esses resultados poderiam ser descartados para uma melhor análise e resultados mais precisos.

Para a análise dos valores de resistência, especificados pelo fabricante, para um par de conector, são próximos dos valores de resistência, obtidos nos ensaios das ligações por CDE.

Pode ser frisado que o trabalho contribuiu para novos resultados e para a criação de um novo dispositivo para o ensaio com chapa de dentes estampados para tração perpendicular as fibras.

O conector mostrou-se viável para a utilização em ensaios de tração perpendicular, contribuindo assim para o laboratório de propriedades mecânicas da Unesp de Itapeva.

7.1 Sugestões para trabalhos futuros

Para a continuidade deste trabalho sugerem-se os seguintes tópicos:

- Mais critérios de dimensionamento como por exemplo: fazer ensaios com as posições de 45° e 90° dos conectores de CDE.
- Realização de um número maior de ensaios com uma mesma espécie para obtenção de valores de resistência para a utilização no desenvolvimento de projetos, e a verificação dos valores de resistência em função do tamanho e posição da chapa;

- Verificação do modo de ruptura apresentado nos ensaios de arrancamento perpendicular às fibras da madeira com o aumento da parcela da chapa presa na peça transversal do corpo-de-prova;
- Verificação da resistência da ligação, para várias espécies de madeira de uma mesma classe de resistência, com peças de madeiras dos corpos-de-prova secas ou saturadas, respectivamente, no momento da cravação do conector CDE e no momento do ensaio da ligação, alterando essa combinação de várias formas;
- Fazer uma maior variação da velocidade de ensaio.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, P. A. O. (1997). **Crerios de projeto das ligações com chapas de dentes estampados**. São Paulo: POLI/USP, (Boletim Técnico nº BT/PEF/9718).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190/97: **Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro: 1997.107p.

BARALDI, L. T. (1996). **Método de ensaio de ligações de estruturas de madeira por chapas com dentes estampados**. São Carlos. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.

BARALDI, L. T. (2001). **Ação diafragma de cobertura aplicada às construções em porto de madeira**. São Carlos. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.

BARROS, J. O. **Considerações sobre a utilização de madeiras na construção de estruturas de cobertura para conjuntos habitacionais**. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 3, 1992, São Carlos. **Anais...** São Carlos: EBRAMEM, 1992. v. 5, p.79-83.

BARROS, J. O.; HELLMEISTER, J. C. **Industrialização de estruturas de madeira para coberturas**. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 3, 1991, São Carlos. Anais São Carlos: EBRAMEM, 1991. v.4. p. 131-145.

BORTOLETTO JUNIOR, G. **Indicações para a utilização da madeira de seis espécies e variedades de Pinus na construção civil**. 1993. 119p.- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, SP.

CALIL, C, J. et al. **Resumos**. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 1, 2000, São Carlos. Resumos. São Carlos: IBRAMEN, 2000. v.1. p.1-5.

CALIL, C, J. **Método de ensaio de ligações de estruturas de madeira por chapas com dentes**, 2002, São Carlos. p. 25.

CALIL, C, J. et al. **Estruturas de Madeira**. São Carlos: USP/EESC, 1998.102f.

GANG-NAIL. **Gang-nail do Brasil**. Disponível em <http://www.gangnail.com.br>. Acesso em 30 de outubro de 2011.

GESUALDO, R, A, F. **Estruturas de Madeira**. Uberlândia: UFU, 2003. 93p.

MARTINS, O. **Estudo das ligações por conectores de chapas com dentes estampados em peças estruturais de madeira**. 2007. Programa de pós graduação em Engenharia Civil - UNESP - Campus de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2007.

MOLITERNO, A. **Projetos de telhados em estruturas de madeira**. São Paulo: Edgard Blücher, 1981.419p.

OLIVEIRA, R. M. **Introdução ao estudo da ligação entre peças de madeira através de chapas metálicas estampadas**. São Carlos: USP/EESC, 1988. 98p (Relatório de Iniciação Científica).

PINHEIRO, R. V. **Emprego da madeira do gênero pinus na construção de estruturas de cobertura**. 1996. 163f. Dissertação (Mestrado em Engenharia das Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

ROCCO, F. A. L (2007). **Contribuição para a definição de critérios para o dimensionamento da ligação entre peças estruturais de madeira por chapas metálicas com dentes estampados**. *Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. (Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos, v. 9, n. 36, p. 49-63, 2007)*