

UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DAS ESTRUTURAS MISTAS :

**"ESTUDO EXPERIMENTAL DE ESTRUTURAS MISTAS DE
MADEIRA-CONCRETO INTERLIGADAS POR PARAFUSOS"**

José Antonio Matthiesen

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira da Universidade Estadual "Júlio de Mesquita Filho", como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Livre-Docente em Engenharia Civil, na disciplina Estruturas de Madeira do Departamento de Engenharia Civil do Campus de Ilha Solteira.

Doc. 071/2002 - NPD 035

UNESP - "CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA"	
SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO	
DATA DE CHEGADA	DATA DE TOMBO
06.05.02	30.05.02
REGISTRO	TOMBO
<i>Alça</i>	<i>Te. 1275</i>
AQUISIÇÃO	CLASSIFICAÇÃO
<i>Loação ant. R\$ 10,00</i>	<i>M 443c</i>



DEZEMBRO - 2001

Co. Sys 216532
Sys 56191

30102022



RESUMO

O potencial de construção composta de madeira-concreto é bem conhecido e provado em países de primeiro mundo. No Brasil, este estudo está se iniciando mais voltado à aplicação nas pontes de madeira. Os tabuleiros compostos de madeira e concreto consistem de uma laje de concreto ligadas aos elementos estruturais de madeira, por intermédio de conectores de cisalhamento. Desta forma, ocorre um funcionamento conjunto da madeira com o concreto. O objetivo deste trabalho foi determinar o módulo de deslizamento (K) na conexão e a resistência da ligação utilizando como conectores de cisalhamento, parafusos comerciais autoatarrachante com diâmetro de 3/8" e 1/2". A madeira escolhida para este estudo foram duas espécies de reflorestamento *Pinus oocarpa* e *Eucalipto grandis* e também uma espécie nativa, a *Goupia glabra*. A avaliação da resistência última e do comportamento força-escorregamento para esses tipos de conectores foi feito através de ensaios padronizados do tipo "push-out", em corpos de prova de ensaio semelhante aos apresentados na norma inglesa BS 5400.

Em uma segunda etapa deste trabalho, utilizando resultados obtidos ensaiaram-se quatro vigas com seção "T" constituída de uma mesa em concreto (30 cm x 5 cm), sendo duas vigas com seção de alma em *Eucalipto* e duas com seção de alma em *Pinus* (6 cm x 16cm), simplesmente apoiada, e medindo 2,00 m entre apoios. No procedimento de ensaio, a viga foi carregada em estágios progressivos nos terços de seu vão. A conexão utilizada foi do tipo discreta composta por parafusos. Mediante a teoria da seção transformada ou equivalente, homogeneizou-se a seção transversal da viga. Buscou-se modelos teóricos para apresentar o comportamento estrutural da viga, conforme duas metodologias. Primeiro segundo a norma DIN 1052/73, considerando-se o escorregamento relativo entre peças. Segundo, a norma NBR 7190/97, sem considerar o deslocamento entre as peças.

ABSTRACT

The potential of construction compound of timber-concrete is well known and has already been tried in first world countries. In Brazil, this study is in its beginning and it is directed towards applications in wood bridges. The trays compound of wood and concrete consist of a concrete flag connected to the wood structural elements by shearing connectors. Therefore, there is a joint functioning of the wood with the concrete. The aim of this work was to determine the modulus of slip (K) of the connection and the resistance of the connection using as connectors commercial auto-attaching screws with diameter of 3/8" and 1/2". The wood chosen for this study were two species of reforestation, Pine oocarpa and Eucalyptus grandis, and also a native species, Goupia glabra. The evaluation of the ultimate resistance and of the strength-sliding for these type of connectors was done by means of standardized essays of "push-out" type, using proof-bodies similar to those presented by the English standard BS5400.

In a second stage of this work, using obtained results four beams was tested with section "T" constituted of a table in concrete (30cm x 5 cm), being two beams with soul section in Eucalyptus and two with soul section in Pinus (6cm x 16cm), simply leaning, and measuring 2.00 m between supports. In the test procedure, the beam was loaded in progressive degrees in the thirds of its span. The used connection was of the discreet type composed by screws. Based on the theory of the transformed section or equivalent, the traverse section of the beam was homogenized. Theoretical models were studied aiming to present the structural behavior of the beam, according to two methodologies. First, according to DIN 1052/73 standard, considering the relative slide between parts. Second, according to NBR 7190/97 standard, without considering the displacement between the parts.



ÍNDICE

Capítulo 1

1.1. Introdução.....	01
1.2. Revisão Bibliográfica.....	02
1.2.1. Estruturas mistas de aço-concreto.....	02
1.2.2. Estruturas mistas de madeira-concreto.....	02
1.2.3. Estruturas mistas de madeira-concreto no Brasil.....	06

Capítulo 2 – Estudo da Ligação Madeira-Concreto com Parafuso Auto-atarrachantes Comerciais.

2.1 Introdução.....	11
2.2 Objetivo.....	12
2.3 Ensaios preliminares.....	12
2.4 Materiais.....	14
2.4.1. Madeira.....	14
2.4.2. Concreto.....	14
2.4.3. Armadura do corpo de prova.....	15
2.4.4. Conectores.....	16
2.5 Ensaio de arrancamento dos conectores.....	16
2.6 Montagem e ensaios dos corpos de prova de madeira-concreto.	17
2.6.1. Montagem dos corpos de prova tipo “push-out”.....	17
2.6.2. Ensaios dos corpos de prova.....	18
2.7. Modo de ruptura.....	22
2.8. Módulo de deslizamento da ligação.....	23
2.9. Considerações preliminares.....	24

Capítulo 3 – Estudo da Ligação Madeira-Concreto com Pregos, Parafusos e Pinos

3.1. Introdução.....	25
3.2. Objetivo.....	25
3.2. Materiais.....	26
3.3.1. Madeira.....	26



Capítulo 1

1.1 Introdução

O presente trabalho tem por objetivo apresentar a contribuição do candidato no campo da ciência e da pesquisa na sua área de atuação. O docente após a obtenção do título de doutor, vem se dedicando à pesquisa sobre as pontes de madeira e durante o pós-doutorado até o presente momento às estruturas mistas compostas de madeira e concreto.

A escassez e o custo dos materiais de construção fazem com que hoje em dia ao conceber-se um projeto de engenharia preocupe-se ao máximo, em aproveitar as propriedades favoráveis dos materiais e minimizar o desperdício. Com isto, no aspecto estrutural, pode-se aumentar a resistência e a rigidez da estrutura, e no aspecto ambiental, utilizar-se de maneira mais racional os materiais. Uma alternativa está na composição de diferentes materiais de construção, como por exemplo, conceber uma estrutura em concreto e em madeira. Deste modo, busca-se associar a capacidade resistente do concreto à compressão, e a da madeira a tração. No Brasil, este estudo está se iniciando mais voltado à aplicação nas pontes de madeira. Os tabuleiros compostos de madeira e concreto consistem de uma laje de concreto ligadas aos elementos estruturais de madeira, por intermédio de conectores de cisalhamento.



1.2 Revisão Bibliográfica

1.2.1 Estruturas mistas de aço-concreto

Por volta de 1914, ocorreram na Inglaterra, os primeiros estudos sobre vigas mistas compostas de aço e concreto. A empresa Redpath Brow and Company começou a pesquisar um sistema composto para pisos realizando uma série de ensaios. Em 1922, no Canadá, a Dominion Bridge Company começava a realizar vários ensaios de estruturas compostas de aço e concreto. Pouco tempo depois, por volta de 1930, o sistema misto de aço-concreto já estava definido e os métodos de dimensionamento estabelecidos e em 1944, já faziam parte das normas da AASHO – American Association of State Highway Officials, hoje denominada AASHTO.

No Brasil, apenas alguns edifícios foram construídos nas décadas de 50 e 60, utilizando sistema misto de aço-concreto, ficando praticamente estagnada durante as décadas de 70 e meados de 80, perdendo para o concreto armado e protendido, nas construções de edifícios e pontes.

1.2.2 Estruturas mistas de madeira-concreto

A madeira tem sido amplamente utilizada em estruturas compostas, em vigas, vigas-colunas, colunas, arranjos para pisos e paredes, no mundo inteiro. Podem ser encontrados estudos sobre vigas compostas de concreto madeira, vigas de madeira reforçada com alumínio e aço, arranjos em camadas (“sandwich systems” e “layered systems”), entre outros.

Sobre vigas compostas de concreto e madeira, o primeiro trabalho citado foi o trabalho de Seiler (1933), sob o título “Um novo Tipo de Viga Composta”. Outros trabalhos sobre vigas de concreto e madeira foram realizados por Baldock e McCullogh, Richart e Williams (1943) e McCullogh (1943). Em todos esses trabalhos foram realizados testes em vigas de concreto e madeira utilizando conectores metálicos, onde são relatadas eficiências não maiores do que 50%, comparadas com a viga calculada teoricamente com composição total. Com base nesses resultados, PINCUS (1969,1970), fez testes no mesmo tipo de viga, porém utilizando adesivos, para formar uma viga com composição total.



Inicialmente, quando se utilizava em vigas compostas ligações com conectores metálicos, a deformabilidade da ligação era considerada através de coeficientes de eficiência, para reduzir a rigidez da viga composta. O primeiro trabalho nesse sentido foi apresentado por Kidwell, em 1897. Quanto a estudos teóricos sobre vigas compostas com composição parcial, os primeiros citados foram os de Newmark e outros (1943,1951), Granholm (1949) e Pleshkov (1952). Goodman (1967) em seu trabalho mostrou que as teorias apresentadas nesses trabalhos eram equivalentes. Em 1956, Muller, a partir dessas teorias, fez um estudo que foi a base para elaboração da norma alemã (DIN 1052), no que se refere as vigas compostas. Muitos trabalhos têm se baseado na teoria da composição parcial para aplicação em sistemas compostos dos mais diversos tipos, tendo sido respeitadas as hipóteses básicas. Amaná e Booth (1967,1968), por exemplo, aplicaram a teoria no sentido de painéis de madeira e compensado com ligação deformável.

McCutcheon (1986), com base em seus próprios trabalhos anteriores, de 1977 e 1981, desenvolveu um método teórico para prever a rigidez de vigas de madeira de seção "T" e "I". Segundo esse método, para se considerar o efeito da deformabilidade da ligação, basta modificar a rigidez axial das abas com uma fórmula proposta e somar sua contribuição na rigidez da alma utilizando o método da seção transformada. A partir dos resultados de um amplo programa experimental concluiu que o método proposto é válido. Nesse trabalho, cita autores que estudaram teoricamente o efeito da deformabilidade dos conectores para o desenvolvimento de programas. Polensk (1976), com base no trabalho de Amaná e Booth, desenvolveu um programa de elementos finitos para o cálculo de arranjos de madeira. Outros programas foram desenvolvidos por Thompson e outros (1977) e Foschi (1982), com o uso de método dos elementos finitos.

Em 1991, Soto, Crempien e Giuliano fizeram uma análise da norma chilena, que sobre vigas compostas tem basicamente o mesmo conteúdo da norma alemã no qual demonstraram, com base na teoria de composição parcial, os fundamentos das recomendações da norma. Foi ainda desenvolvido, um programa para o cálculo de vigas e colunas de madeira de seção compostas com base na norma, o DECOM. Utiliza o trabalho de Wagner, que em 1979, fez um estudo sobre a norma alemã.



HÁ (1993) fez uma análise a partir da qual obteve a matriz de rigidez para vigas "sanduíche". Nessa análise, o elemento central suporta apenas tensões de cisalhamento e os elementos externos apenas flexão. Por isso, apesar de a ligação ser rígida existe um deslocamento relativo entre os elementos externos. A análise, baseada em equações de equilíbrio e de compatibilidade geométrica e relações constitutivas, é semelhante às análises feitas em vigas compostas com deslocamentos relativos entre elementos devidos à deformabilidade da ligação.

Além de análises baseadas em equações de equilíbrio, outras foram feitas baseadas no método da energia. Wheat e Calixto (1993) apresentaram uma análise não linear de vigas e vigas-colunas de madeira compostas de duas camadas ("Two-layered") com composição parcial. Na formulação, através do método da energia, foram somadas a energia de deformação dos elementos de madeira, a energia de deformação dos conectores e a energia potencial das cargas externas. Os procedimentos do cálculo variacional foram utilizados para obter um sistema de equações diferenciais, cuja solução fornece a solução para os deslocamentos. Um programa experimental foi realizado e os resultados comparados com a solução teórica, obtida através da solução das equações diferenciais por método numérico.

Outros autores que estudaram teoricamente o efeito da deformabilidade dos conectores em vigas compostas de madeira foram Kuenzi e Wilkinson (1971), Hoyle (1973,1984), Ko, Goodman, Vanderbilt, Criwell e Bodig (1972), Kuo, Goodman, Vanderbuilt, Criswell, Bodig e Thompson (1974), Girhammar (1985). O efeito da composição parcial foi estudado ainda em colunas de madeira de seção composta. Entre os autores, Rassan e Goodman (1970, 1971), Mahotras e Van Dyer (1984), Van Dyer (1992) e, no Brasil, Carvalho Filho (1986).

A teoria de composição parcial foi bastante aplicada nos estudos de vigas compostas de concreto e aço, formadas por uma mesa de concreto, ligada a um perfil de aço. Em 1988, Zaremba fez uma análise da influência de vigas de concreto e aço, com composição parcial na rigidez global de estruturas de edifícios, com esse tipo de viga, utilizando uma relação constitutiva não linear para os conectores, e esse efeito adicionado ao comportamento global da estrutura. A solução foi obtida através dos conceitos do método da energia, e de um método numérico. Foi obtido um modelo não linear para o comportamento da estrutura até o estado limite, provocado por deslocamento excessivo dos



conectores, plastificação do aço ou esmagamento do concreto. Um programa de computador foi desenvolvido a partir da solução. Em 1989, Bradford e Gilbert analisaram vigas de concreto e aço com composição parcial, considerando os efeitos da fluência e da retração do concreto. Inicialmente, desenvolveram uma análise de curta duração e, com hipóteses básicas de comportamento linear do concreto, do aço e do material dos conectores, obtiveram um par de equações, cuja solução, obtida através de um processo de aproximação sucessivas, leva à solução do problema, isto é, ao conhecimento da deflexão e das tensões ao longo do comprimento. Em 1992, Tarantino e Dezi fizeram uma análise de curta e longa duração em vigas do mesmo tipo utilizando equações de equilíbrio e de compatibilidade geométrica entre elementos e relações constitutivas. Foi feita uma análise paramétrica para a análise da distribuição de tensões, em função da deformabilidade dos conectores ao longo do tempo.

Em 1993, GIrhammar e Gopu fizeram uma análise teórica de vigas compostas de dois elementos ligados por conectores. A análise, que utiliza o método da seção transformada, é feita para material qualquer. Além da análise de primeira ordem, foi feita uma análise de segunda ordem, onde na equação de compatibilidade são considerados os deslocamentos de segunda ordem. Para as duas análises são obtidas equações diferenciais que podem ser resolvidas analiticamente. A partir da solução da equação diferencial são obtidas as expressões da deflexão e dos esforços internos. Uma aplicação é feita para um caso particular para uma comparação entre as análises de primeira e segunda ordem.

Como se pode notar, um importante aspecto do comportamento de vigas compostas é a ligação. Em todos os trabalhos, onde foram considerados os efeitos da composição parcial provocada pela deformabilidade dos conectores, foi adotada uma relação constitutiva para os conectores, normalmente linear. Entretanto, muitos trabalhos têm sido feitos sobre o comportamento de ligações. Entre os autores que estudaram o comportamento de ligações de peças de madeira, estão: Stern (1940), Doyle (1964), Isyumov (1967), Kunesh e Johnson (1968), Lantos (1969), Wilkinson (1980), Soltis, Hubbard e Wilkinson (1986) e ZAHN (1991). Este último desenvolveu um método teórico para o dimensionamento de ligações entre peças de madeira considerando um

comportamento não linear para os conectores e uma distribuição desigual de força de cisalhamento nos conectores de ligação.

Ceccotti (1995) apresenta um valor para o módulo de deslizamento K_{ser} quando obtida experimentalmente a curva força x deslocamento, como sendo o correspondente módulo de deslizamento inicial secante ao ponto de 40% da força de ruptura da ligação e a sua respectiva deformação. Quando se tratar da verificação do estado limite último, recomenda adotar a indicação do Eurocode 5/93, onde o valor do módulo de deslizamento de utilização $K_u = (2/3) K_{ser}$.

1.2.3 Estruturas mistas de madeira-concreto no Brasil

No Brasil, uma boa visão geral do estudo na área de estruturas de madeira, principalmente na evolução das vigas compostas, pode ser encontrada a partir dos trabalhos apresentados nos Encontros Brasileiros em Madeiras e Estruturas de Madeira (EBRAMEM).

Um dos trabalhos, apresentados por Hellmeister em 1986, trata exatamente da evolução dos estudos no Laboratório de Estruturas de Madeira (LaMEM) da EESC-USP, São Carlos. Segundo o autor, os primeiros estudos foram feitos em vigas de seção composta de postes circulares ligados por anéis metálicos. Em seguida, começaram a ser estudados, além de anéis metálicos, outros tipos de conectores. Em todos esses trabalhos foi estudada, experimentalmente, a influência da composição parcial na rigidez da viga, procurando uma relação entre a rigidez e as características da ligação. O objetivo foi sempre alcançar a máxima eficiência da viga composta, a solução para grandes vãos. Posteriormente, começaram a ser desenvolvidas vigas de baixo consumo de madeira, conseguido através do afastamento das peças em relação ao centro de gravidade. Entre essas estão as vigas de madeira com alma treliçada, as vigas Vierendel lentiformes, e as vigas de madeira com alma em chapa de compensado. Entre os autores que estudaram experimentalmente vigas compostas estão Szucs, Rubert, Monari e Lahr.

Quanto a trabalhos teóricos sobre o efeito da composição parcial, podem ser citados os trabalhos de Rodrigues Jr. (1984), sobre vigas de madeira de quatro elementos ligados por anéis metálicos, e de Carvalho Filho (1986), em colunas



espaçadas de seção composta. Rodrigues Jr. fez um estudo teórico segundo a teoria de composição parcial. Este trabalho tem a mesma base do trabalho de Soto, Crempien e Giuliano, e chega à uma equação diferencial em termos das deflexões equivalentes.

Entre os autores que estudaram experimentalmente ligações de peças de madeira, estão Carrasco, Gesualdo e Matthiesen, que realizaram um trabalho com o objetivo de estabelecer uma metodologia para o ensaio de ligação de peças estruturais de madeira solicitadas por compressão.

Almeida e Fusco, em 1987, realizaram um amplo estudo sobre ligações de peças de madeira, com o objetivo de definir teoricamente os estados limites para ligações e desenvolveram um método de dimensionamento. Foram ainda desenvolvidos métodos de ensaios de caracterização de ligações. Este método foi aplicado mais tarde no dimensionamento da ligação em vigas de madeira com alma em treliça para pontes, no trabalho de Almeida e Fusco.

Um dos primeiros estudos do comportamento estrutural de vigas com seção transversal T, compostas de madeira e concreto e usando como elemento de ligação entre os dois materiais pregos convencionais, foi apresentado por Gomes em 1974. Neste trabalho realizou um estudo experimental de seis vigas com características idênticas, variando o diâmetro do prego e o espaçamento entre eles. Fez uma análise teórica do problema e quando comparada com os resultados experimentais observou-se uma semelhança entre os mesmos.

Sousa, em 1997, realizou uma análise teórica experimental dos conectores metálicos, levando em consideração a necessidade da compreensão do comportamento dos mesmos. O trabalho foi feito em corpos de prova de cisalhamento do tipo "push-out" de madeira-concreto, e estudou-se o efeito da variação dos tipos de conectores como: cantoneiras fixadas por pregos, pinos, cavilhas com seções circulares e retangulares. Fez-se, também, uma modelagem do comportamento mecânico da madeira e dos corpos de prova de cisalhamento via MEF (Método dos Elementos Finitos). Os resultados obtidos mostraram que o corpo de prova adotado pode ser recomendado como corpo de prova padrão para ensaios de

conectores a serem utilizados em vigas compostas de madeira-concreto.

Chahud, Magalhães e Souza em 1997, trabalharam na análise do comportamento estrutural de conectores rígidos e semi-rígidos na ligação madeira-concreto em C.P.s de cisalhamento. Os tipos de conectores utilizados foram; cavilha com seção circular (CSC), cavilha com seção retangular (CSR), cantoneira metálica fixada com pino e pré-furação (CCPF) e cantoneira metálica fixada com pino sem pré-furação (CSPF).

O programa de ensaio foi constituído de duas partes distintas: a caracterização de cada material envolvido (madeira, concreto e conector) e a execução do ensaio dos C.P.s de cisalhamento.

A caracterização do material madeira foi obtida conforme NBR 7190:97 e a caracterização do material concreto foi determinado através de ensaios padrões..

O modo de ruptura nos C.P.s dos conectores tipo cavilha foi observada e ocorreu no concreto. A fissura no concreto se processou na parte superior do C.P. Após a separação dos dois materiais, verificou-se que as cavilhas com seção circular se encontraram menos deformadas, e também observou-se um menor cisalhamento entre as fibras. Os C.P.s que utilizaram cantoneiras proporcionaram modos de ruptura bem mais numerosos. Nestes foi observado embutimento do pino na madeira; fendilhamento na madeira; tração no pino; tração na cantoneira metálica e também a ruptura do concreto na região do conector.

Chegaram a conclusões preliminares que, a resistência cisalhante foi aproximadamente proporcional à seção transversal do concreto tipo cavilha, e o ponto crítico da ligação utilizando conectores tipo chapa metálica é a pré-furação.



Soriano, Dinten, Tacitano, Mascia e Junior em 1998, realizaram um trabalho para análise teórica e experimental de uma viga T em concreto-madeira. Os conectores de cisalhamento (pregos), foram ensaiados e determinou-se o módulo de deslizamento. Esses valores foram, então, comparados com valores teóricos determinados através de dois procedimentos:

O primeiro, de acordo com a NBR 7190:97, é o que apresenta uma rigidez maior à flexão, possuindo menores resultados de deslocamentos verticais. Esses deslocamentos verticais medidos são maiores para um mesmo carregamento, indicando uma menor rigidez. O segundo, calculado pela DIN 1052:73, apresenta valores intermediários para a rigidez entre a real e os obtidos usando a NBR 7190:97.

Os resultados obtidos através da DIN 1052:73 aproximam-se mais dos resultados de ensaio da estrutura mista. A redução da inércia a 95%, conforme indicação da NBR 7190:97, acarretou resultados mais distantes da realidade. A conexão foi eficiente e superou as expectativas, dando-se a ruptura nas fibras mais tracionadas na seção de madeira.

Oliveira, em 1999, realizou estudos teóricos e experimentais de vigas compostas de madeira laminada colada e concreto solidarizadas por conectores metálicos (chapas metálicas).

Chegaram a conclusão que os conectores de cisalhamento apresentam um bom comportamento, quando à absorção dos esforços atuantes ocorre na interface madeira-concreto e estes trabalharam bem no que diz respeito ao impedimento da separação longitudinal entre a viga de madeira e a mesa de concreto, não permitindo a separação entre a madeira e o concreto.

A linha neutra das vigas compostas de madeira-concreto na seção analisada encontram-se como no caso das vigas simples, abaixo daquela esperada teoricamente.



A distribuição de deformações longitudinais e, por conseguinte, a de tensões apresenta valores não muito diferentes quando se compara os resultados experimentais daqueles esperados teoricamente. As mesas de concreto acrescentaram uma rigidez bastante considerável às vigas de MLC (Madeira Laminada Colada).

Tacitano, em 2000, fez análise teórica de vigas de seção T em madeira-concreto, com o objetivo que diz respeito à determinação das tensões normais e de cisalhamento, bem como dos deslocamentos verticais ao longo da viga. Aplicando métodos exatos e aproximado em vigas bi-apoiadas com carregamento constante ao longo da viga e com cargas aplicadas nos terços dos vãos.

Concluindo, entre os que eles apresentam resultados similares, pode-se dizer que o primeiro método é mais razoável para ser aplicado à engenharia e é o que se pretende, pois seu procedimento de cálculo é mais simples.

Hoje, no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira, da Escola de Engenharia de São Carlos, USP, está se desenvolvendo o projeto " Programa Emergencial das Pontes de Madeira para São Paulo: Tecnologia para a Sociedade" coordenado pelo Prof. Titular Carlito Calil Júnior, com a participação de vários grupos de pesquisadores de várias universidades relacionados com os sistemas estruturais e construtivos de pontes de madeira abordados no projeto.

A realização deste programa trará uma contribuição tecnológica inédita para projetos e construções de pontes de madeira para o Brasil, principalmente as mais modernas estruturas compostas, como a composição de madeira com o concreto. Desta forma, espera-se fornecer os subsídios necessários para serem acrescentados na norma NBR-7190



Capítulo 2

Estudo da Ligação Madeira-Concreto com Parafusos Auto-atarrachante Comerciais

2.1 Introdução

As construções compostas de concreto-aço são bem conhecidas nas construções. Com métodos de aplicação construtivos definidos, bem como a estabilidade e evidências de utilização resolvidos pela ciência, prosperou rapidamente. As construções compostas de madeira-concreto não foram usadas pela construção civil, por causa de suas propriedades elástico-mecânicas diferentes. Recentemente, as pesquisas foram dirigidas a este campo, com desejo de resolver a aplicação de estruturas mistas em madeira-concreto, para diversas modalidades da construção civil, destacando-se, no Brasil, para as pontes de madeira.

Para que a estrutura trabalhe, utilizando da melhor forma, as propriedades dos dois materiais, concreto transmitindo esforços de compressão e a madeira transmitindo esforços de tração, um sistema de união faz-se necessário, para que os dois materiais trabalhem conjuntamente. Em sua pesquisa, Ceccotti (1995) afirma que uma estrutura mista, eficiente de madeira-concreto, pode-se dobrar a sua capacidade de transmitir esforços e aumentar a sua rigidez, na ordem de três a quatro vezes, em relação a uma estrutura só de madeira. Apresenta também, alguns tipos de conectores metálicos para um sistema de ligação flexível como: parafusos, pregos, chapas dentadas e anéis metálicos. Segundo Takad, (1996), conectores de ligação, do tipo padronizados, são econômicos, razão suficiente para a investigação de elementos que também define a sua aplicação em estruturas compostas de madeira-concreto.

Parafusos do tipo auto-atarrachante, são agentes de união em construção de madeira, produzidos em série e de rápida execução. O propósito desta pesquisa é descobrir se os parafusos auto atarrachantes são aplicáveis para a união de



madeira-concreto de maneira satisfatória, assegurando que os dois materiais trabalhem conjuntamente na transferência de esforços.

No sentido de dar uma contribuição nos estudos das pontes de madeira, composta por: vigas laminadas coladas, troncos de madeira ou madeira serrada e também para efeito de comparação, neste capítulo foram realizados estudos com três tipos de madeira, duas de reflorestamento *Pinus oocarpa* e *Eucalypto grandis* e uma comercial, *Goupia glabra* (Copiúba).

2.2 Objetivos

Verificar a eficiência do comportamento mecânico de parafusos auto-atarrachantes metálicos, de diâmetros 3/8" e 1/2", como conectores flexíveis de ligação em ensaios experimentais nos corpos de prova do tipo "push-out", em concreto-madeira. O comportamento de mais de uma linha de parafusos, na verificação do espaçamento dos mesmos em função da resistência, foi pesquisado.

2.3 Ensaios preliminares

Para atingir o objetivo proposto e trabalhar com corpos de prova padronizados, precisava-se ter uma idéia da forma e posicionamento dos parafusos na madeira, afim de se obter maior eficiência na ligação. Se o comprimento sem rosca do parafuso, que ficaria embutido no concreto, seria suficiente para a ancoragem e o comportamento do corpo de prova durante o ensaio, bem como o seu modo de ruptura. Fez-se alguns corpos de prova baseado na literatura, segundo Ceccotti (1995), apenas com sulcos na madeira, sulcos e parafusos, parafusos perpendiculares à madeira e parafusos inclinados. Esses corpos de prova foram ensaiados no laboratório de estruturas da EESC-USP, e através dos resultados apresentados pode-se racionalizar e programar os tipos de ensaios necessários para atingir os objetivos. As figuras 01, 02 e 03 apresentam ensaio e rupturas dos corpos de prova.



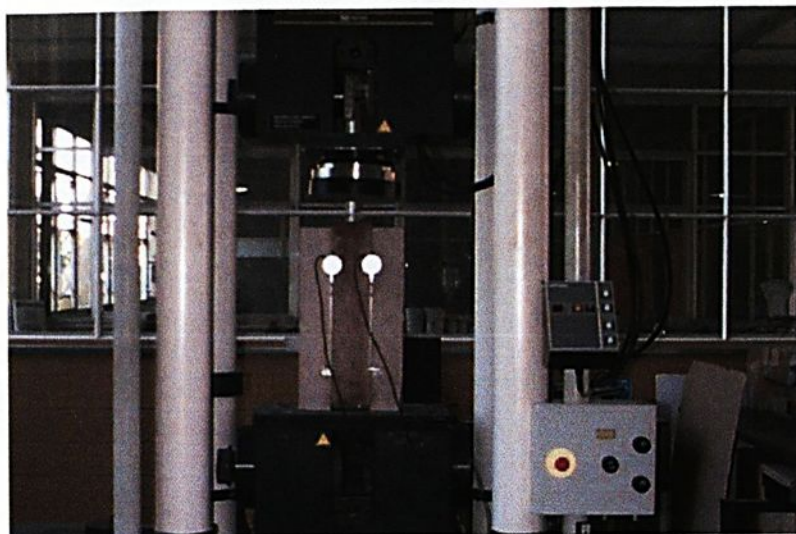


Figura 01 – Ensaio preliminar



Figura 02 – Ruptura

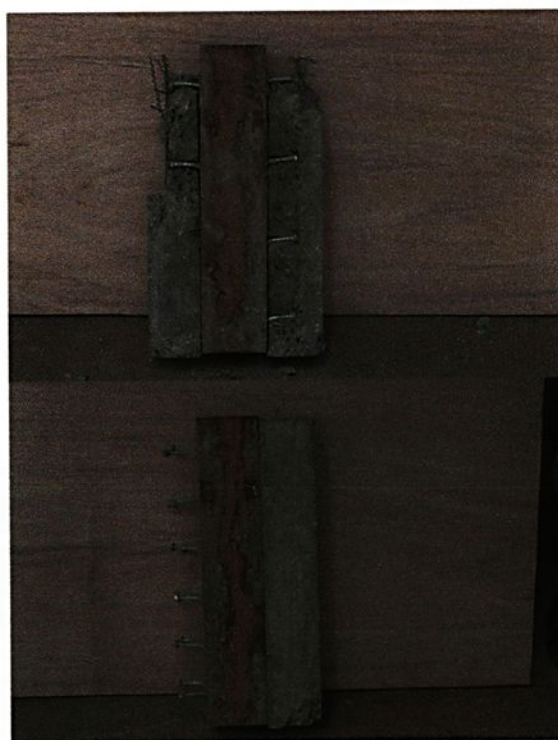


Figura 03 – CPs rompidos

2.4 Materiais

2.4.1 Madeira

As espécies de madeiras escolhidas para a realização dos ensaios foram: uma conífera, Pinus oocarpa, e duas dicotiledôneas , o Eucalípto grandis e a Goupia glabra. Essas madeiras são facilmente encontradas no Estado de São Paulo, por serem o Pinus e o Eucalípto, madeira de reflorestamento e a Copiúba uma madeira comercial. A norma brasileira, a NBR 7190/97, permite para madeiras conhecidas a realização da caracterização simplificada dos corpos-de-prova, sendo 6 para a determinação do teor de umidade, e 6 para a determinação da resistência e da rigidez à compressão paralela às fibras. A média dos resultados dos ensaios obtidos, encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização da madeira

Tipo de Madeira	Teor de umidade (%) corrigidos pela NBR7190/97	ρ kg/m ³	Resistência à compressão paralela às fibras (MPa)	Módulo de elasticidade paralelo às fibras (MPa)
Pinus	12	516	27,6	11009
Eucalípto	12	703	51,6	20249
Copiúba	12	764	54,7	15638

2.4.2 Concreto

O corpo de prova do tipo “push-out” para a obtenção do módulo de deslizamento, é composto na parte central por madeira e as duas laterais por concreto. Na expectativa de que a ruptura ocorresse no conector ou na madeira, utilizou-se um concreto de boa qualidade, com traço 1:2,4:3,8 e o fator água cimento $x=0,54$. A areia utilizada foi a grossa e brita número 1. Para cada 3 elementos estruturais concretados, retirava-se 4 corpos de prova cilíndricos, para a determinação da resistência média à compressão e módulo de elasticidade do concreto. Num total de



32 corpos de prova, todos ensaiados juntamente com os elementos estruturais aos 28 dias. A figura 04 mostra o ensaio para obtenção do módulo de elasticidade do concreto e sua ruptura. Os resultados são apresentados na Tabela 2.

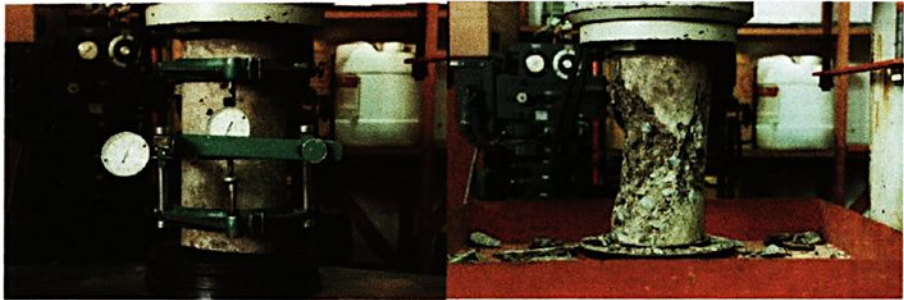


Figura 04 – Ensaio de compressão do concreto

Tabela 2 - Caracterização do concreto

Resistência média à compressão (MPa)	Módulo de deformação longitudinal secante (MPa)
29.5	36566

2.4.3 Armadura do corpo de prova

Para confecção da armadura utilizou-se barras de aço com diâmetro igual a 8 mm, cortadas e soldadas, para facilitar sua colocação na forma e não encostar nos conectores. Esta armadura tem a finalidade, apenas, de combater a fissuração do concreto. A figura 05 apresenta a armadura do corpo de prova

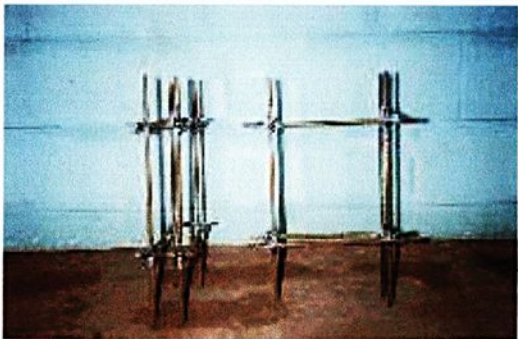


Figura 05 – Armadura do corpo de prova

2.4.4 Conectores

Os conectores utilizados são parafusos auto atarrachantes comerciais, da marca Ciser e Rex, com diâmetros de 3/8" e 1/2", com comprimento igual a 120 mm. Para os parafusos de 3/8", com diâmetro interno da rosca igual a 6,6 mm, foi feita uma pré-furação com broca de 6,4 mm. Para os parafusos de 1/2", com diâmetro interno de rosca igual a 9,2 mm, o diâmetro da pré-furação foi de 9,5 mm para todos os corpos de prova.

2.5 Ensaio de arrancamento dos conectores

Ensaios preliminares comprovaram que a colocação do parafuso inclinado entre 45° a 60°, em relação as fibra da madeira, apresentam menores deslocamentos na união concreto-madeira, em relação aos parafusos colocados perpendicular às fibras. Portanto, foram realizados 8 ensaios de arrancamento do parafuso para cada espécie de madeira com inclinação de 50° em relação às fibras. As figuras 06 e 07 mostram o posicionamento do parafuso e o ensaio do corpo de prova. A Tabela 3 apresenta a média dos resultados dos ensaios.

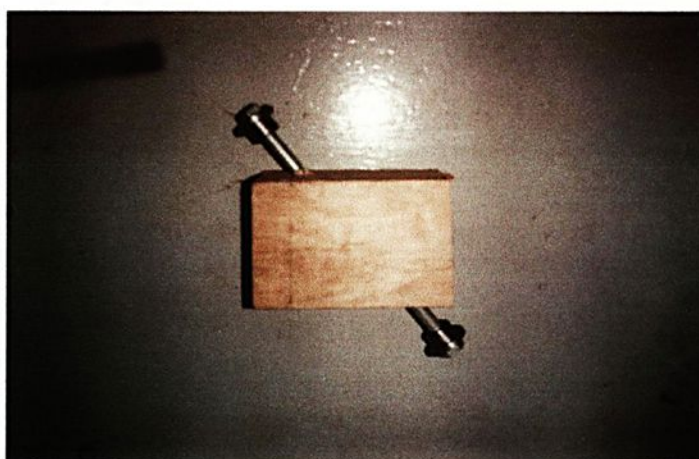


Figura 06 – Posicionamento do parafuso

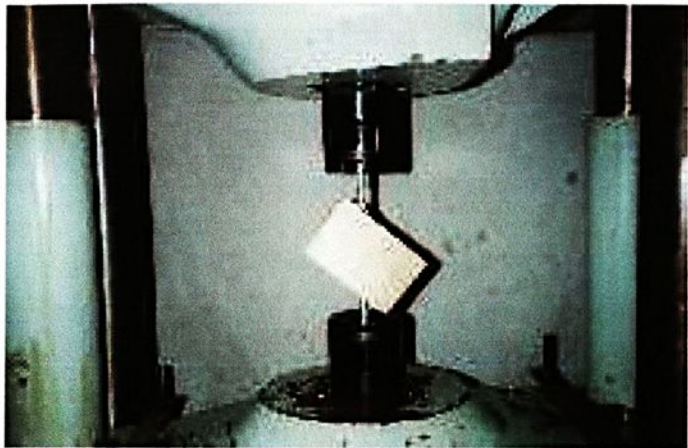


Figura 07 – Ensaio de arrancamento do parafuso

Tabela 3 – Média dos resultados de arrancamento

Tipo de madeira	Parafusos de 3/8" (kN)	Parafusos de 1/2" (kN)
Pinus	8,5	9,65
Eucalípto	9,83	9,73
Copiúba	14,33	13,83

2.6 Montagem e ensaios dos corpos de prova de madeira-concreto

2.6.1 Montagem dos corpos de prova tipo “push-out”

Os corpos de prova tipo “push-out” são formados por um elemento central de madeira (10 cm x 10 cm x 42 cm) e dois elementos de concreto (10 cm x 30 cm x 42 cm). Nas faces opostas da madeira foi colocado um par de parafusos com inclinação de 50° formando um X. Essas faces de contato com o concreto, foram impermeabilizadas com graxa para que não houvesse interferência do atrito no resultado. As Figuras 8a,8b,8c e 8d apresentam a montagem dos corpos de prova na forma e sua concretagem.



a) Conector na madeira em forma de X



b) Colocação na forma



c) Concretagem



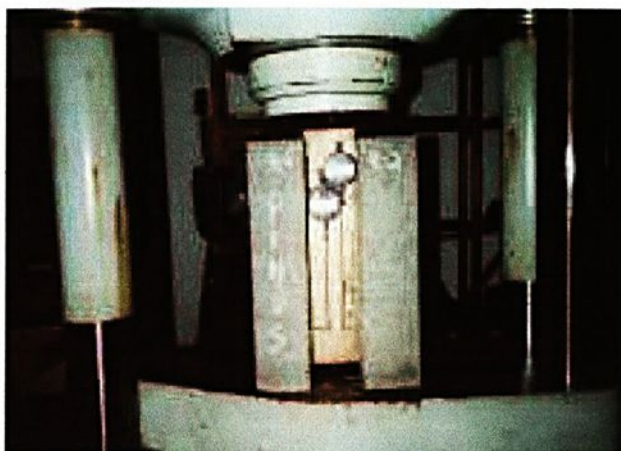
d) Corpos de prova

Figura 8 – Montagem dos corpos de prova tipo “push-out”

Foram confeccionados um total de 24 corpos de prova, sendo 9 de Pinus, 9 de Eucalipto e 6 de Copiúba. Para o Pinus e o Eucalipto temos 3 grupos: 3 corpos de prova com dois pares de parafusos de $1/8"$; 3 corpos de prova com dois pares de parafusos de $1/2"$; 3 corpos de prova com 4 pares de parafusos de $1/2"$, formando 4X e espaçados de 8d igual a 10cm. Para a Copiúba temos apenas os dois últimos grupos citados acima.

2.6.2 Ensaios dos corpos de prova

Para a realização do ensaio foram instalados 4 relógios comparadores, dois em cada face do elemento central, com sensibilidade de 0,001 mm, para medir o deslocamento do concreto em relação a parte central de madeira. As Figuras 9a, 9b e 9c mostram a sequência de ensaio.



a) início do ensaio



b) próximo à ruptura



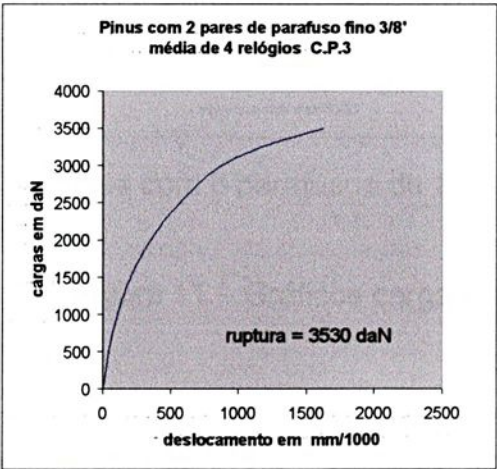
c) corpo de prova rompido

Figura 9 – Ensaio de um corpo de prova

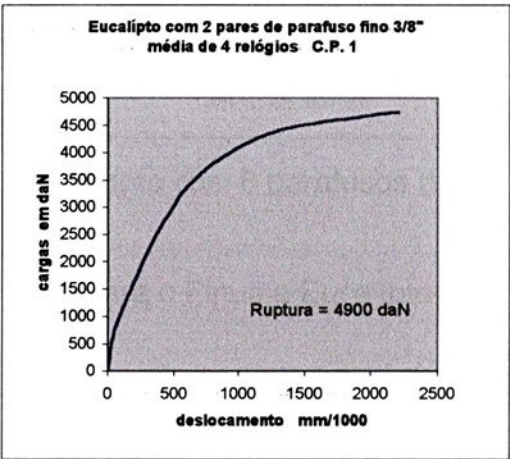
Todos os corpos de prova foram ensaiados aos 28 dias. Após a cada ensaio, os corpos de prova eram abertos através de uma serra, para uma análise do modo de ruptura na parte de madeira e no concreto. A Tabela 4 apresenta os resultados dos ensaios de compressão nos corpos de prova do tipo push-out. As Figuras 10a, 10b, apresentam os gráficos comparativos da relação carga por deslocamento dos corpos de prova de Pinus e Eucalipto, utilizando como conectores, parafusos de 3/8".

Tabela 4 – Valores de ruptura dos corpos de prova

Tipo de Madeira	Ligação com 2 pares de parafusos de 3/8" (kN)	Ligação com 2 pares de parafusos de 1/2" (kN)	Ligação com 4 pares de parafusos de 1/2" (kN)
Pinus 1	38,5	46,5	90,0
Pinus 2	35,0	46,0	90,0
Pinus 3	35,3	45,0	91,5
Eucalipto 1	49,0	62,8	114,5
Eucalipto 2	52,4	66,8	130,0
Eucalipto 3	43,4	65,0	128,8
Copiúba 1	x-x-x	88,6	151,5
Copiúba 2	x-x-x	81,5	160,4
Copiúba 3	x-x-x	82,0	168,5



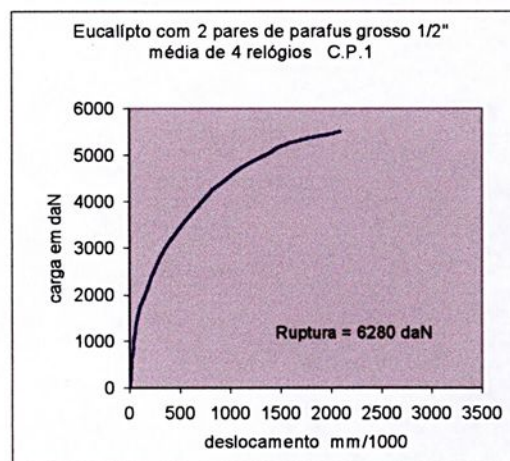
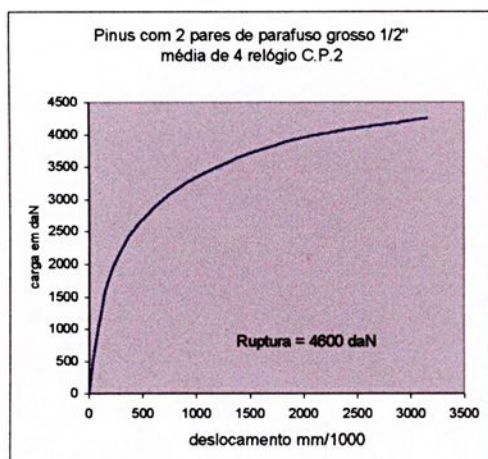
a) Pinus com 4 parafusos de 3/8"



b) Eucalipto com 4 parafusos de 3/8"

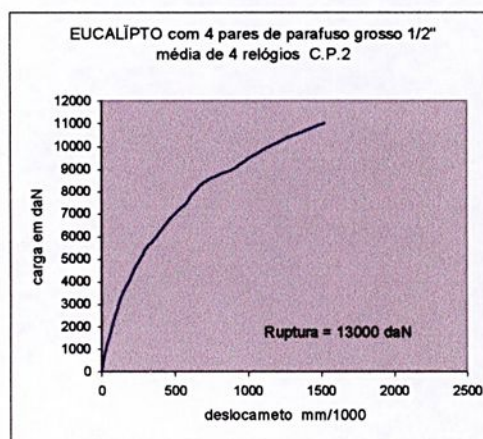
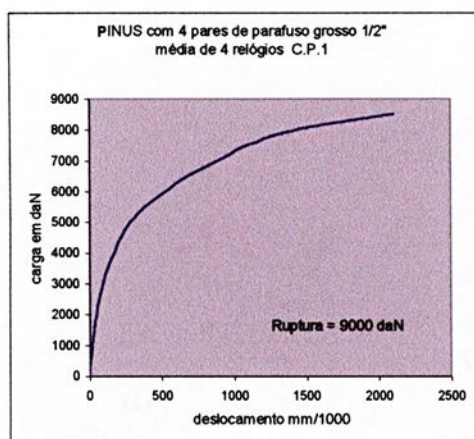
Figura10 – Gráficos carga x deslocamento para o Pinus e Eucalipto

As Figuras 11a, 11b, 11c e 11d, apresentam os gráficos comparativos da relação carga por deslocamento dos corpos de prova de Pinus e Eucalipto, utilizando como conectores, parafusos de 1/2".



c) Pinus com 4 parafusos de 1/2"

d) Eucalipto com 4 parafusos de 1/2"

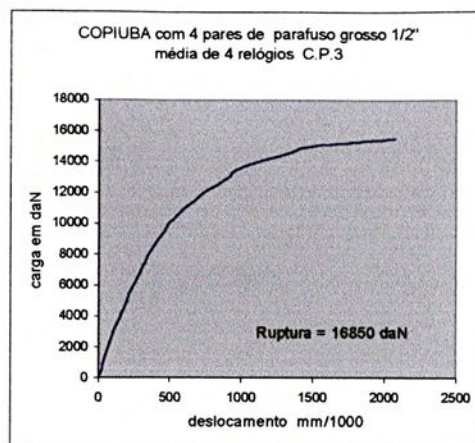
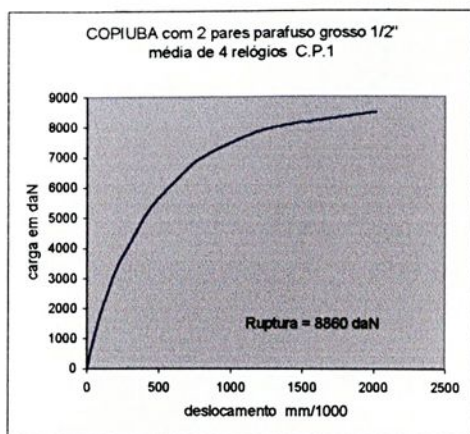


d) Pinus com 8 parafusos de 1/2"

e) Eucalipto com 8 parafusos de 1/2"

Figura 11 – Gráficos carga x deslocamento para o Pinus e Eucalipto

As figuras 12a e 12b apresentam os gráficos carga x deslocamento para os corpos de prova de Copiúba utilizando como elemento de ligação, 2 e 4 pares de parafusos de 1/2" respectivamente.



a) Copiúba com 4 parafusos de 1/2"

b) Copiúba com 8 parafusos de 1/2"

Figura 12 - Gráficos carga x deslocamento para a Copiúba

2.7 Modo de ruptura

Todos os corpos de prova apresentaram características semelhantes em seu modo de ruptura. Devido ao concreto escolhido ser de boa qualidade, houve apenas esmagamento por compressão, produzido pelo parafuso na madeira. Em pouquíssimas laterais de concreto, percebe-se a perda de uma pequena casca superficial em volta dos parafusos. Acredita-se que esta perda ocorreu por deslocamento excessivo entre os elementos do corpo de prova, entre 15 a 20 mm. As Figuras 13a e 13b mostram o modo de ruptura do corpo de prova aberto.



a) concreto intacto e grande esmagamento na madeira



b) concreto alterado perto dos parafusos e grande esmagamento na madeira

Figura 13 – Modo de ruptura

Em nenhum dos corpos de prova ensaiados, observou-se a possibilidade de perda de aderência do parafuso no concreto ou mesmo de seu arrancamento significativo na madeira.

2.8 O Módulo de deslizamento da ligação

A norma brasileira NBR 7190 é omissa quanto a normalização de corpos de prova em estruturas mistas de madeira-concreto, portanto seguiu-se a norma inglesa BS 5400 para a confecção dos corpos de prova do tipo “push-out”, onde Malite (1993) conseguiu excelentes resultados no estudo das estruturas mistas de aço e concreto. Por sua vez, para os procedimentos da determinação do módulo de deslizamento da ligação, procurou-se utilizar o item B.8.4 da NBR 7190 que apresenta o procedimento para ensaio de compressão paralela às fibras. Através das curvas obtidas experimentalmente carga x deslizamento, obtem-se o módulo de deslizamento K através da secante ao ponto de 10% e 50% da força de ruptura da ligação e sua respectiva deformação.

$$K = \frac{\Delta F_s}{\Delta \delta} = \frac{50\%F_s - 10\%F_s}{50\%\delta - 10\%\delta}$$

A Tabela 5 apresenta o módulo de deslizamento da média de 3 corpos de prova, calculado através da expressão acima

Tabela 5 – Módulo de deslizamento

Tipo de madeira	4 parafusos de 3/8" K (kN/mm)	4 parafusos de 1/2" K (kN/mm)	8 parafusos de 3/8" K (kN/mm)
Pinus	59	68	153
Eucalípto	61	68	149
Copiúba	x-x-x	128	235

2.9 Considerações preliminares

Comparando-se os resultados dos ensaios de arrancamento dos parafusos com os resultados dos corpos de prova do tipo “push-out”, pode-se observar que para o Pinus pouco se diferem, tanto para os parafusos de 3/8” como para os de 1/2”de diâmetro. Para o Eucalipto, a resistência última do parafuso no ensaio de compressão são bem superiores. Isto se deve ao fato do parafuso trabalhar muito mais ao embutimento, do que ao arrancamento. Para a Copiúba, madeira mais densa, devido ao embutimento do parafuso, já era esperado os valores bem superiores. O corpo de prova com 4 parafusos tem problemas de estabilidade, portanto, recomendamos para este tipo de corpo de prova a utilização de 8 parafusos, isto é, duas linhas de conectores em cada face. A Tabela 6 apresenta a comparação destes dois tipos de ensaios para o parafuso.

Tabela 6 –Resistência de um parafuso ao arrancamento e ao ensaio de compressão

Tipo de madeira	Arrancamento Parafuso de 3/8” (kN)	Resistência de 1parafuso de 3/8” (kN)	Arrancamento parafuso de 1/2” (kN)	Resistência de 1parafusode 1/2” (kN)
Pinus	8,5	9,06	9,65	11,45
Eucalipto	9,83	12,06	9,73	16,21
Copiúba	14,33	x-x-x	13,83	21,0

Quando foi utilizado nos ensaios 4 pares de parafusos de 1/2”, com espaçamento de 8d entre pares, observa-se praticamente o dobro para o valor da carga ruptura do corpo de prova e seu módulo de deslizamento. Isto demonstra que o espaçamento adotado está correto, mas, deve ser investigado espaçamento maiores que 8d, procurando assim, uma economia no número de parafusos.

O módulo de deslizamento encontrado para as 3 espécies de madeira, apresentam valores relativamente altos, o que viabiliza o seu emprego em vigas mistas de madeira-concreto.

Capítulo 3

Estudo da Ligação Madeira-Concreto com Pregos, Parafusos e Pinos

3.1 Introdução

As modernas práticas construtivas de hoje, descobriram a possibilidade do uso de estruturas mistas de madeira e concreto nas construções, e consequentemente a utilização e emprego correto de elementos de ligações entre os dois materiais.

Já verificou-se muitas vantagens na utilização desse sistema, mas ainda não foi largamente utilizado, pois ainda existe um certo desconhecimento no comportamento mecânico desse tipo de estrutura mista, principalmente na interface entre estes dois materiais nos valores do deslizamento relativo entre as partes que afetará a rigidez e a capacidade resistente.

Pesquisas anteriores concluíram, que a ligação tem uma maior ou menor rigidez, dependendo do nível de transferência da força de cisalhamento que age entre os dois materiais, pois o acréscimo de deslizamento entre a madeira e o concreto, mesmo pequenos, causam uma perda desproporcional na ação do composto, prejudicando, assim, o alcance da interação da estrutura composta madeira-concreto.

Neste capítulo, esperando dar uma contribuição maior ao estudo das estruturas mistas de madeira-concreto, procurou-se investigar a eficiência de outros tipos de conectores de ligação.

3.2 Objetivos

Um dos objetivos principais deste capítulo, é verificar a melhor eficiência do comportamento mecânico entre alguns tipos de conectores como: pregos, pinos de ferro de construção, por serem mais econômicos, de execução mais simples e parafusos auto atarrachantes para efeito comparativo.



Outro objetivo é definir o melhor posicionamento do conector na ligação, esperando encontrar maior capacidade de carga da ligação e menor deslocamento entre as peças, podendo, desta forma, determinar o melhor módulo de deslizamento.

Os corpos de prova do tipo push-out utilizados no capítulo anterior demonstraram boa eficiência, mas, são muito pesados e consomem muito material. Passa a ser objetivo deste estudo, tentar minimizar o corpo de prova e padronizá-lo para vários tipos de conectores, mantendo a mesma eficiência e facilitando o seu ensaio.

3.3 – Materiais

3.3.1 – Madeira

A espécie de madeira utilizada para a realização dos ensaios foi a Cupiúba (*Goupia glabra*), pertencente a classe de resistência das Dicotiledôneas, sendo escolhida porque é uma madeira comercializada com grande frequência nesta região do Estado de São Paulo.

A norma brasileira NBR 7190/97, permite para madeiras conhecidas a realização da caracterização simplificada com 12 corpos de prova, sendo 6 para a determinação do teor de umidade que se encontra a madeira, e 6 para a determinação da resistência e da rigidez à compressão paralela às fibras da madeira. Também verificamos a resistência ao cisalhamento utilizando 6 corpos de prova de acordo com a norma. Na tabela 1 são apresentados os resultados obtidos dos ensaios de acordo com NBR 7190/97.

Tabela 1 – Caracterização da madeira

Valores	Teor de umidade (%)	Resistência à compressão paralela às fibras (MPa)	Resistência ao cisalhamento (MPa)	Módulo de elasticidade paralelo às fibras (MPa)
Ensaio	15,33	46,61	8,67	9867
Corrigidos	12,00	51,27	9,54	10524
NBR 7190/97	12,00	54,40	10,40	13627

3.3.2 - Concreto

O concreto utilizado para a fabricação dos corpos de prova de madeira-concreto do tipo “push-out”, foi o mesmo dos corpos de prova com parafusos auto atarrachantes, por apresentarem boa resistência. Os materiais utilizados para fazer o concreto foram cimento CP II – F 32, areia grossa e brita número 1. Para cada 6 elementos estruturais concretados, retiravam-se 3 corpos de prova cilíndricos 15 cm x 30 cm utilizados para a determinação da resistência média à compressão e o módulo de elasticidade do concreto.

Baseado em ensaios anteriores, pretendendo-se que a ruptura ocorresse no conector ou na madeira, utilizou-se um concreto de boa qualidade, repetindo-se o traço em massa de 1:3,8:2,4 contendo um fator água cimento de 0,54. Totalizando 15 corpos de prova, sendo 3 para cada tipo de ligação. Estes foram ensaiados juntamente com os elementos estruturais aos 28 dias. A tabela 2 apresenta a média dos resultados para a caracterização do concreto.

Tabela 2 – Caracterização do concreto

Corpos de prova ligado por :	Resistência média do concreto à compressão (MPa)	Módulo de deformação longitudinal secante (GPa)
Pregos 26x72 (1)	41,73	39,02
Parafusos 3/8" (2)	35,60	42,52
Parafusos 1/2" (3)	37,21	41,21
Pino 1/2" (4)	33,07	38,45
Pino 1/2" (5)	40,63	45,12

3.3.3 - Armadura do corpo de prova do tipo “push-out”.

Para a confecção de todos os corpos de prova de compressão do tipo “push-out” foi utilizada armaduras de barras de aço CA 50 B, com diâmetro de 1/4”, cortadas com tamanho de



24,0 cm e estribos com diâmetro de 1/6" amarrados a cada 18,0 cm. Esta armadura tem apenas a finalidade de combater a fissuração do concreto. Figura 01.

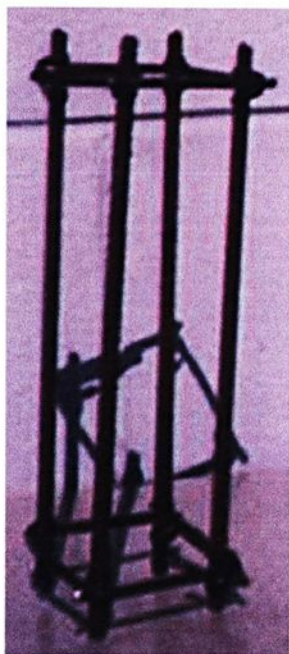


Fig.01 – Armadura utilizada

3.3.4 - Conectores

Os conectores utilizados nos ensaios são denominados de sistema de ligação flexível, através do qual ocorrerão pequenos deslizamentos horizontais entre os dois materiais.

Tipos de conectores utilizados nos ensaios.

- 1 - Pregos 26 x 72 comerciais da marca Triângulo.
- 2 - Parafusos de 3/8" auto-atarrachantes comerciais da marca Ciser e Rex.
- 3 - Parafusos de 1/2" auto-atarrachantes comerciais da marca Ciser e Rex
- 4 e 5 - Pinos retirados de barras de aço de 1/2" da marca Gerdau.

A figura 02 apresenta os tipos de conectores utilizados na ligação madeira-concreto

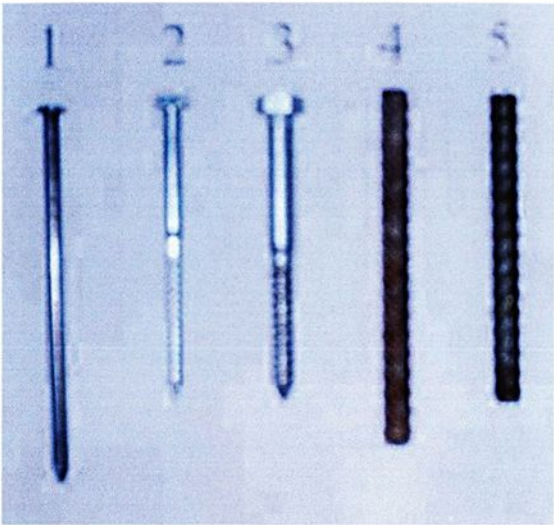


Fig.02 – Tipos de conectores

A tabela 3 apresenta as dimensões dos conectores utilizados, a sua penetração na madeira e o diâmetro de pré-furação.

Tabela 3 – Descrição das dimensões médias dos conectores de cisalhamento

Tipo de conector		Dimensões (mm)	Penetração (mm)	Pré-furação (mm)
1	Prego	$\varnothing=7,0$ L=163,0	85,0	6,3
2	Parafuso	$\varnothing=9,525$; $\varnothing_{int}=6,6$; L=128,0	64,0	6,4
3	Parafuso	$\varnothing=12,7$; $\varnothing_{int}=9,2$; L=128,0	64,0	9,5
4	Pino	$\varnothing=12,7$ L=150,0	80,0	11,0
5	Pino	$\varnothing=12,7$ L=128,0	64,0	12,0

$\varnothing$ = diâmetro médio do conector

$\varnothing_{int}$ = diâmetro médio interno da rosca do conector quando parafuso

L= comprimento médio do conector

As pré-furações para as ligações por pinos foram no mínimo $0,95\phi_{ef}$ (diâmetro efetivo medido nos pregos a serem usados) e para as ligações parafusadas a pré-furação não maior que o diâmetro mais 0,5mm, seguindo recomendações construtivas para madeiras de classe de resistência das Dicotiledôneas, segundo NBR 7190/97. A penetração dos pregos foi de 12. ϕ segundo NBR 7190:97. Para os parafusos a penetração na madeira é de aproximadamente até o limite do comprimento da rosca. Para os pinos do tipo 4, utilizamos uma penetração de 50% de seu comprimento na madeira, para efeito de comparação com os parafusos de 1/2". Para os pinos do tipo 5 com comprimento igual ao dos parafusos de 1/2" torna-se mais fiel a comparação dos resultados entre os corpos de prova. Desta forma, a sua profundidade de penetração na madeira é semelhante ao parafuso de 1/2 , ou seja, igual a 68 mm.

Os pinos de aço, por possuírem um diâmetro avantajado, em relação ao seu comprimento, não seguem a recomendação da norma de ter uma penetração na madeira de 12 vezes o seu diâmetro.

3.4 - Montagem dos corpos de prova do tipo "push-out"

A omissão da norma a respeito de ensaios de corpos de prova do tipo "push-out" para estruturas compostas de madeira e concreto, permitiu projetar um modelo de corpo de prova de madeira-concreto simétrico, que através de ensaios de compressão, permitem caracterizar a capacidade dos conectores em transferir o esforço de cisalhamento na superfície de contato concreto-madeira.

Os corpos de prova do tipo " push-out" são formados por um elemento central de madeira (10 cm x 10 cm x 25 cm). Confeccionaram-se lotes de 6 corpos de prova para cada tipo de conector, sendo 3 com os conectores inclinados de 50° em relação as fibras da madeira formando um X de cada lado e os outros 3 com inclinação de 90° em relação as fibras da madeira. As faces em contato com o concreto foram impermeabilizadas com graxa, para evitar que o contato direto entre a madeira e o concreto tivesse influência na determinação do módulo de deslizamento da ligação, devido ao atrito que poderia ocorrer entre os dois materiais.

No total foram confeccionados 30 corpos de prova, todos feitos de Cupiúba, com os 3 tipos de conectores. A seguir, é apresentado o esquema com as



dimensões dos corpos de prova. A figura 03 mostra o esquema do corpo de prova utilizando pregos, sendo o espaçamento entre os pregos paralelos igual a 10 vezes o seu diâmetro. O esquema utilizado para os parafusos e pinos de aço é semelhante ao apresentado para os pregos, respeitando o mesmo afastamento. A figura 04 apresenta as posições dos pregos fixados na madeira.

Conectores tipo 1

Esquema de montagem

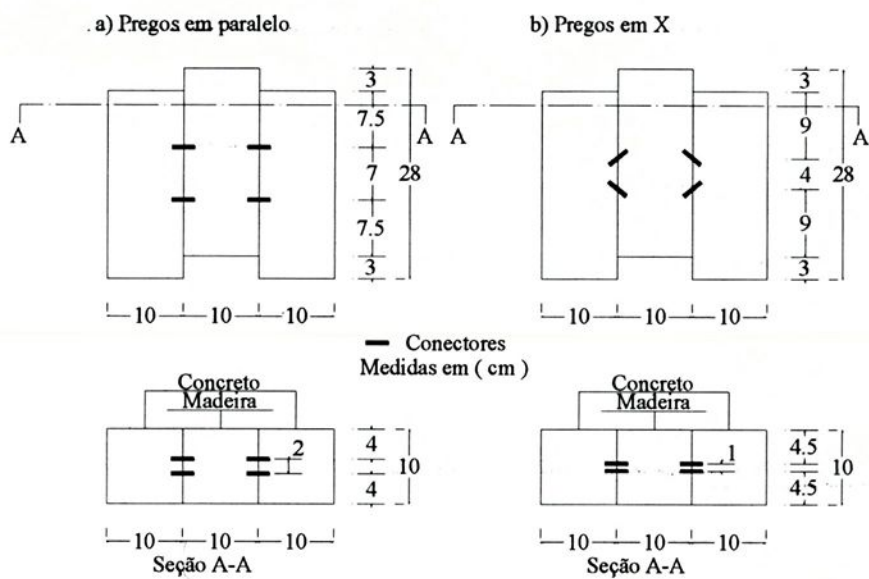


Figura 03 – Esquema dos corpos de prova com pregos

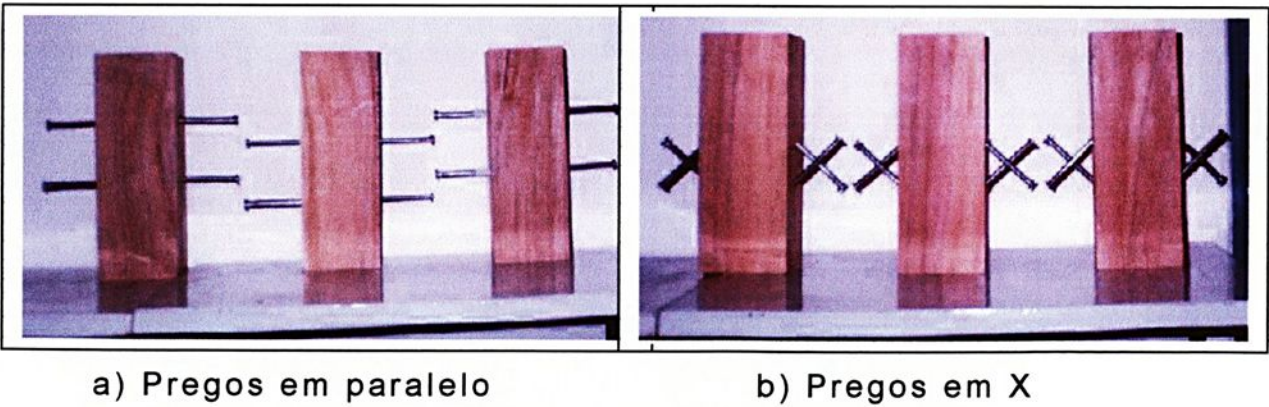
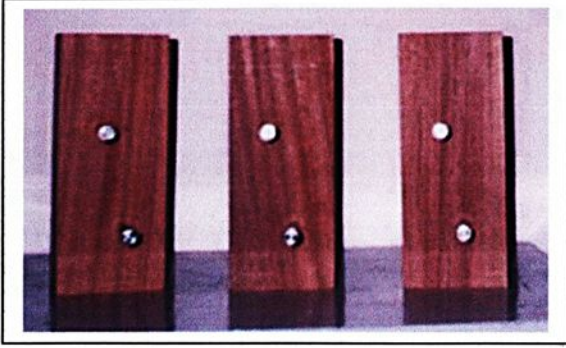
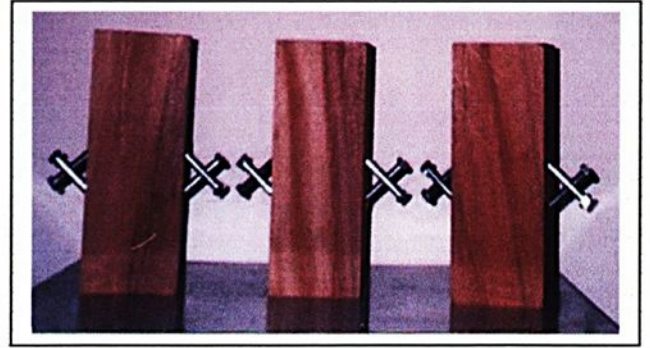


Figura 04 – Modo de colocação dos pregos

A figura 05 apresenta os esquemas dos parafusos de diâmetro de 3/8" e 1/2" fixados na madeira para a montagem dos corpos de prova. O espaçamento dos parafusos em paralelo é igual a 10d e dos parafusos em X é de 4,0 cm.



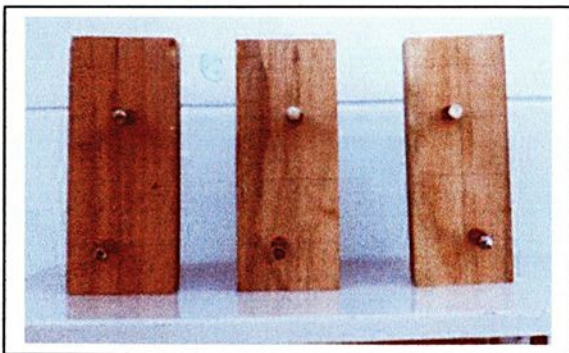
a) Parafusos 3/8" em paralelo



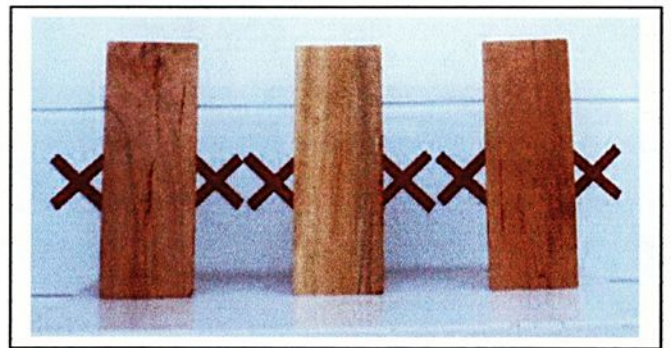
b) Parafusos 3/8" em X

Figura 05 – Modo de colocação dos parafusos de 3/8" e 1/2."

Os conectores do tipo pinos de ferro de 1/2" foram introduzidos na madeira através de uma furação prévia de 12 mm com ajuda de um martelo. A fixação do pino na madeira foi muito satisfatória devido a sua rugosidade, dispensando desta forma o uso da cola. A figura 06 mostra os pinos fixados na madeira.



a) Pinos 1/2" em paralelo



b) Pinos 1/2" em X

Figura 06 – Modo de colocação dos pinos de 1/2"

Um novo posicionamento dos pinos de ferro foi testados nos corpos de prova, onde tinham uma inclinação de 50° em relação às fibras e espaçamento entre pinos igual a 10d. Corpos de prova com pinos com inclinação também de 50° formando um X e espaçados de 4cm, foram confeccionados para efeitos comparativos. A figura 07 mostra o esquema de montagem dos corpos de prova e a figura 08 o posicionamento dos pinos na madeira.

Conectores tipo 5 – Esquema de Montagem

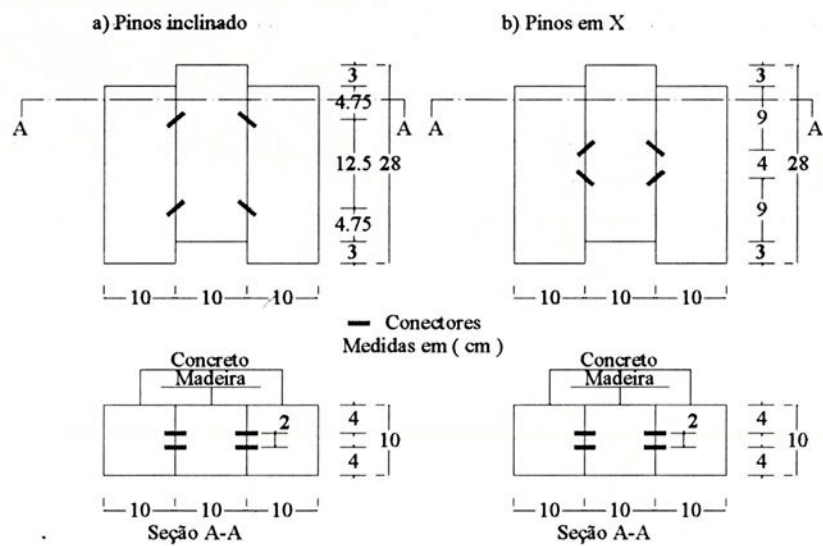
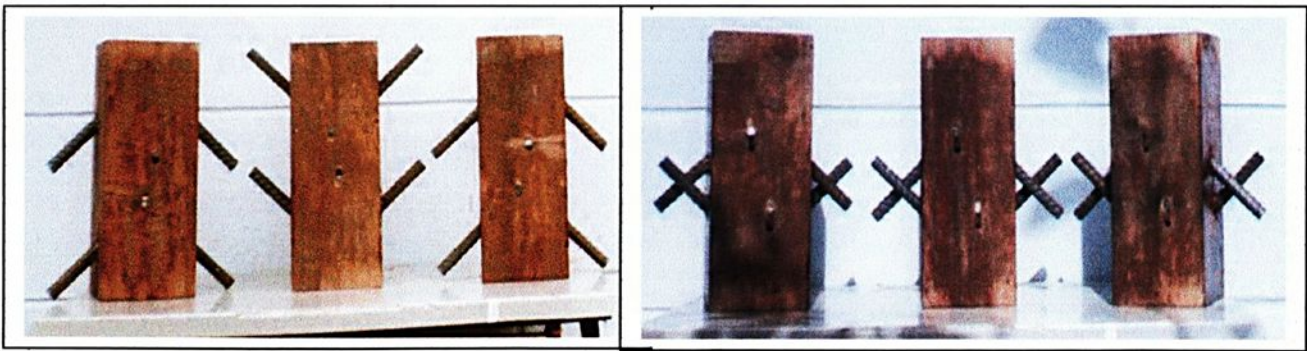


Figura 07 – Esquema dos corpos de prova com pinos de 1/2"



a) Pinos 1/2" inclinados

b) Pinos 1/2" em X

Figura 08 – Modo de colocação dos pinos de 1/2"

Foram montadas duas formas, com capacidade de concretar 3 corpos de prova em cada uma. A idéia era ter o mesmo concreto para ensaios comparativos de conjuntos de corpos de prova com disposições de conectores diferentes. As figuras 09 e 10 apresentam a concretagem dos corpos de prova e a figura 11 mostra os corpos de prova prontos para serem ensaiados.



Figura 09 - Concretagem de 3 corpos de prova



Fig.10 - Término da concretagem



Figura11- Corpos de prova prontos para ensaio

3.5 - Ensaio dos corpos de prova

Procedimentos de ensaios experimentais foram realizados segundo o item B.8 da NBR 7190:97. Os corpos de prova foram submetidos a ensaio de compressão, semelhante ao ensaio feito para a determinação do módulo de elasticidade paralelo às fibras da madeira, onde este divide-se em três estágios: no primeiro estágio conduz-se o carregamento com velocidade de 10 MPa/min (aproximadamente 42 Kgf/Seg) até 50% de sua carga de ruptura, onde mantém-se constante por 30 segundos, e em seguida, descarrega-se com a mesma velocidade até os 10% de sua carga de ruptura e mantém-se constante por 30 segundos. Inicia-se então o segundo estágio idêntico ao primeiro. Após completar o segundo estágio, inicia-se o carregamento final com a mesma velocidade até a ruptura, registrando os deslocamentos obtidos nos relógios comparadores.

Para a realização do ensaio foram instalados 2 relógios comparadores (Mitutoyo), um em cada face do elemento central, com sensibilidade de 0.001 mm, para medir o deslocamento do concreto em relação a parte central da madeira.

Foi utilizada a prensa universal de ensaio do Laboratório de Engenharia Civil da FEIS-UNESP com capacidade 1000 KN. Todos os corpos de prova foram ensaiados aos 28 dias obedecendo o tempo de cura do concreto. A figura 12 mostra o ensaio de um corpo de prova.

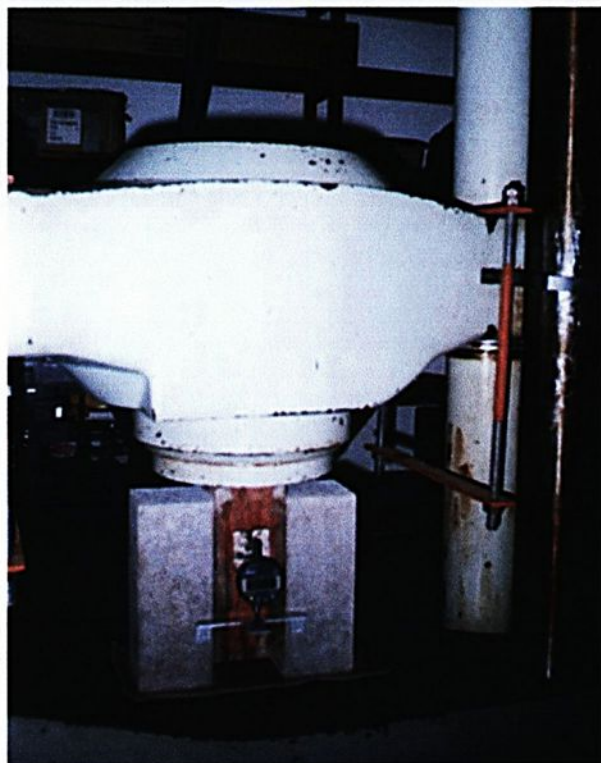
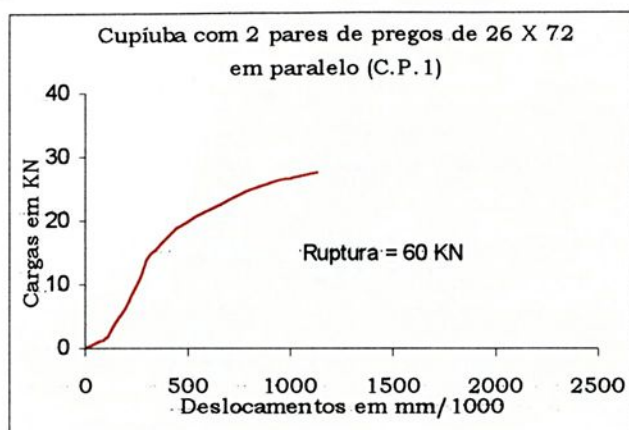


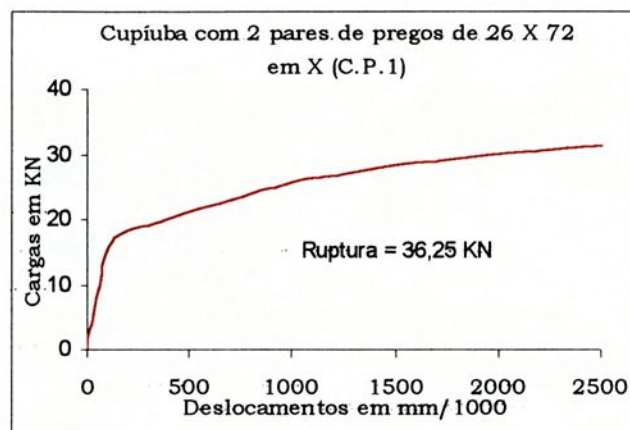
Fig.12 - Ensaio dos corpos de prova

Realizados os ensaios, traçaram-se todos os gráficos das cargas por deslocamentos, relativos a cada tipo e disposição dos conectores nos corpos de prova. A figura 13 apresenta os gráficos dos ensaios com pregos dispostos em paralelos e em forma de X. A figura 14 e 15 mostra os gráficos dos ensaios com parafusos de 3/8" e 1/2" respectivamente, com parafusos dispostos em paralelos e em forma de X. Os gráficos dos pinos de ferro são apresentados na figura 16 para os dispostos em paralelos e em forma de X, e na figura 17 para os dispostos inclinados e em forma de X.

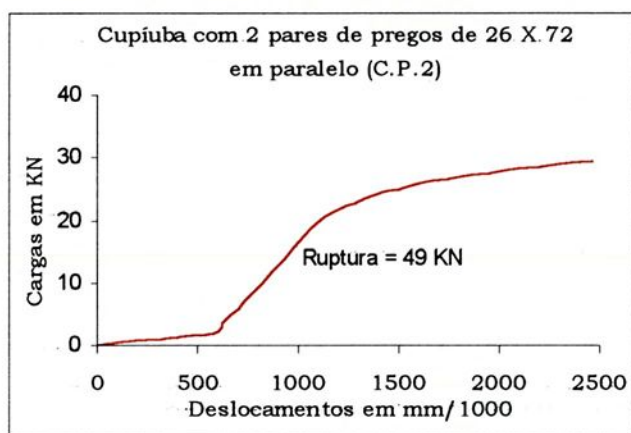
Fig.13 - Gráficos de conectores tipo 1



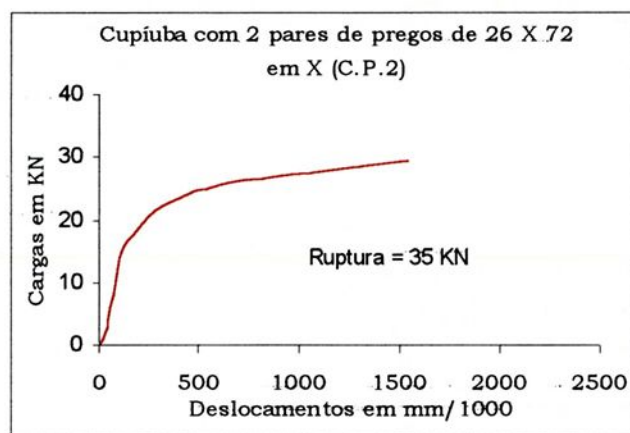
a) Pregos em paralelo



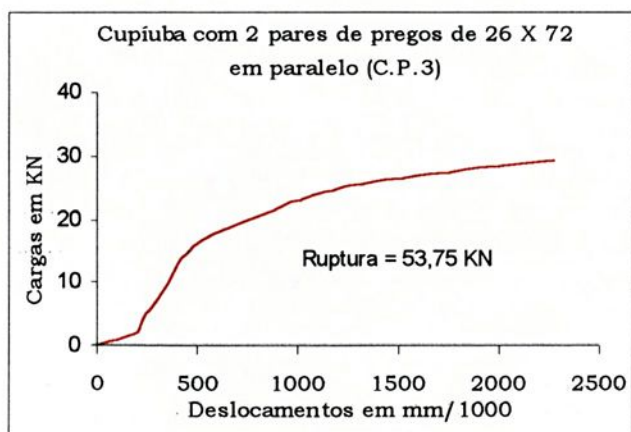
b) Pregos em X



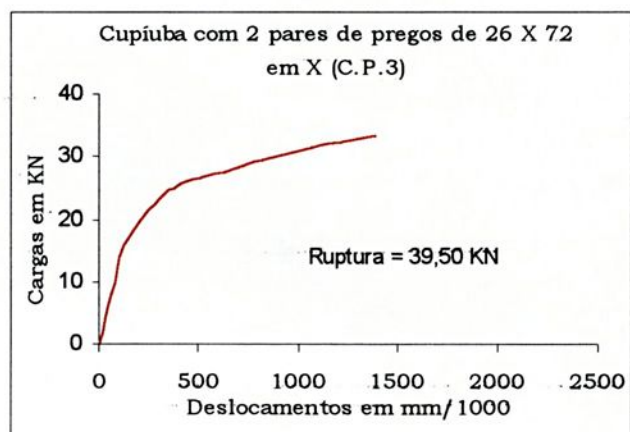
c) Pregos em paralelo



d) Pregos em X

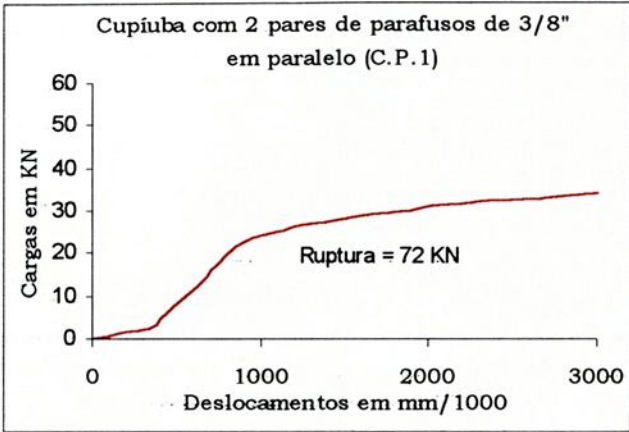


e) Pregos em paralelo

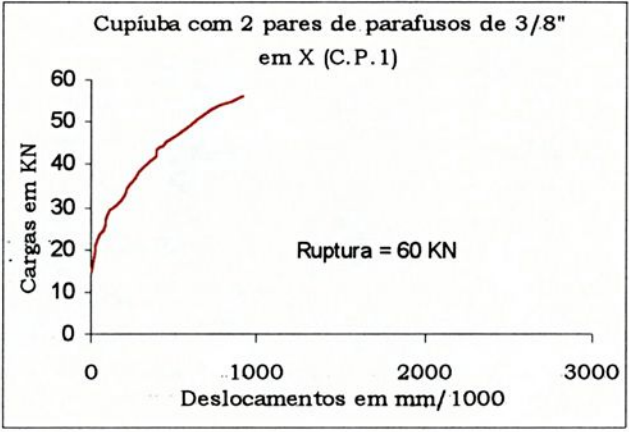


f) Pregos em X

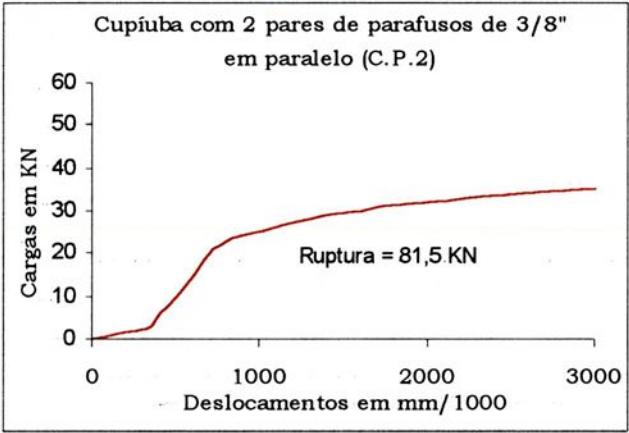
Fig.14 - Gráficos de conectores tipo 2



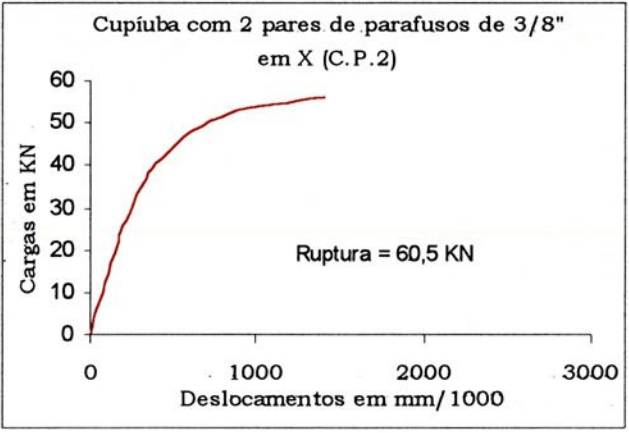
a) Parafuso em paralelo



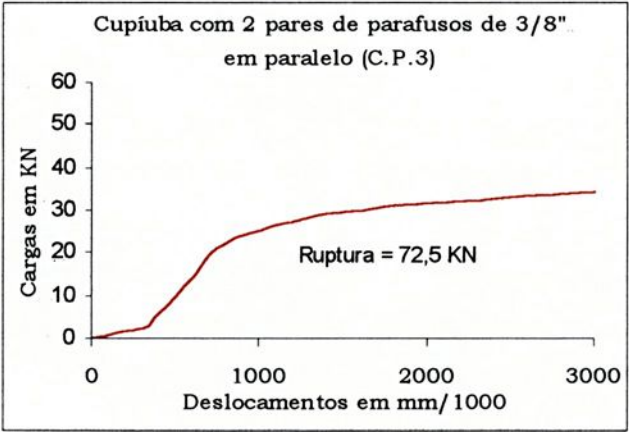
b) Parafusos em X



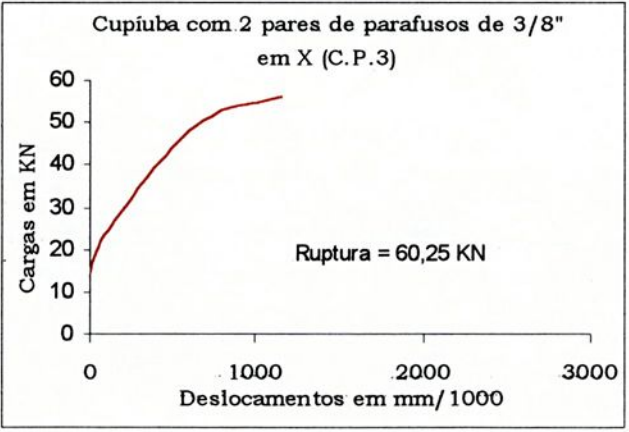
c) Parafusos em paralelo



d) Parafusos em X

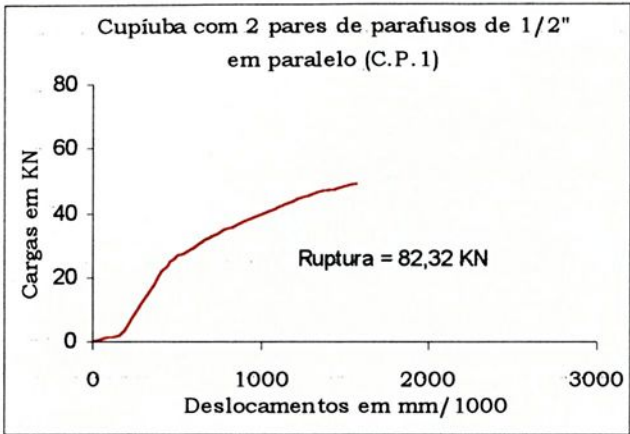


e) Parafusos em paralelo

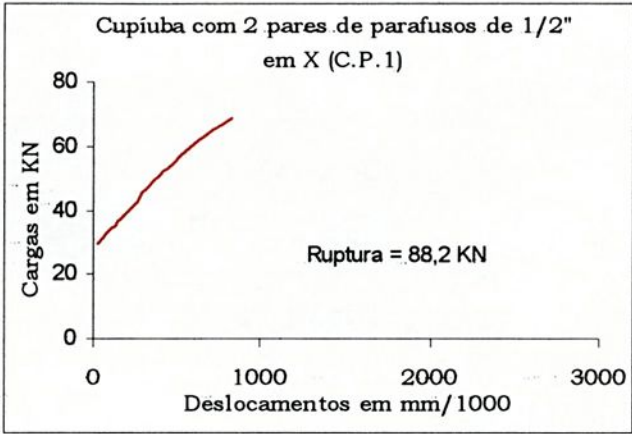


f) Parafusos em X

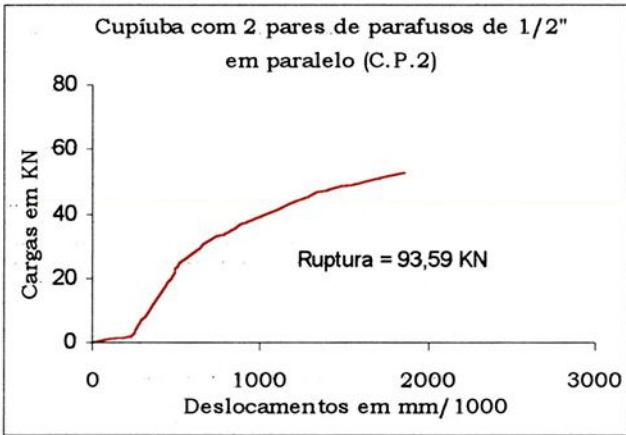
Fig.15 - Gráficos de conectores tipo 3



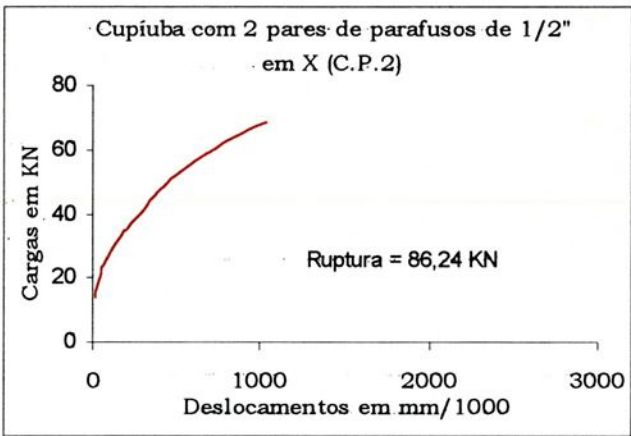
a) Parafusos em paralelo



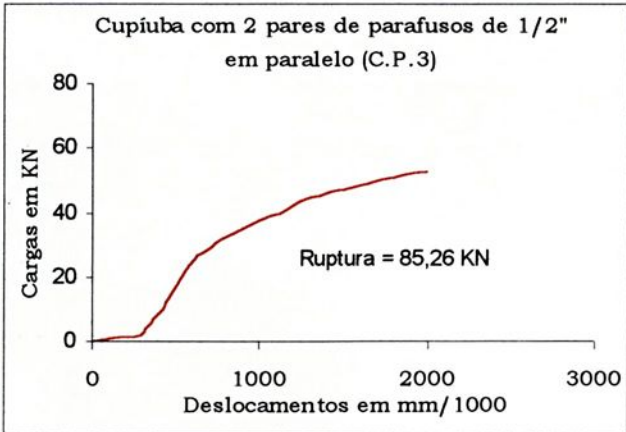
b) Parafusos em X



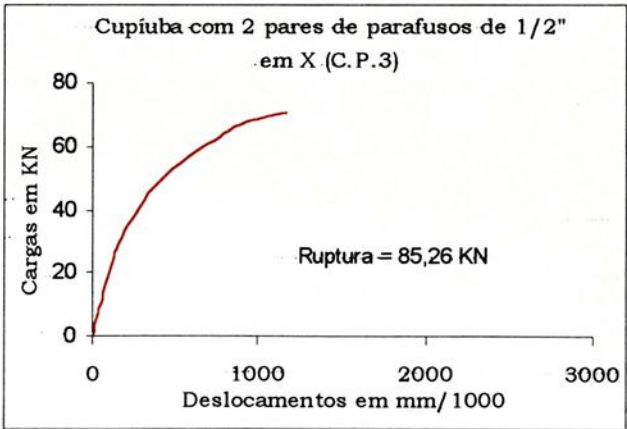
c) Parafusos em paralelo



d) Parafusos em X

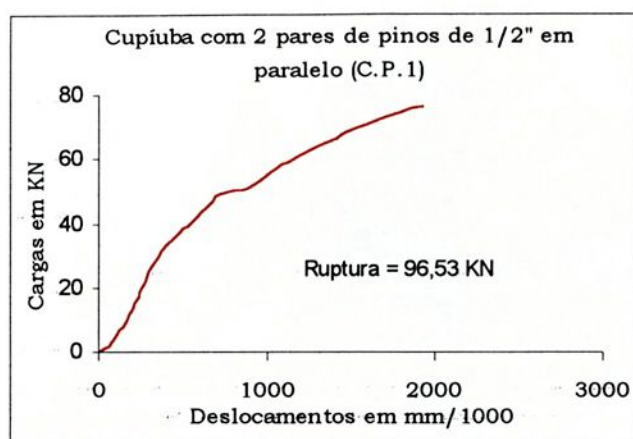


e) Parafusos em paralelo

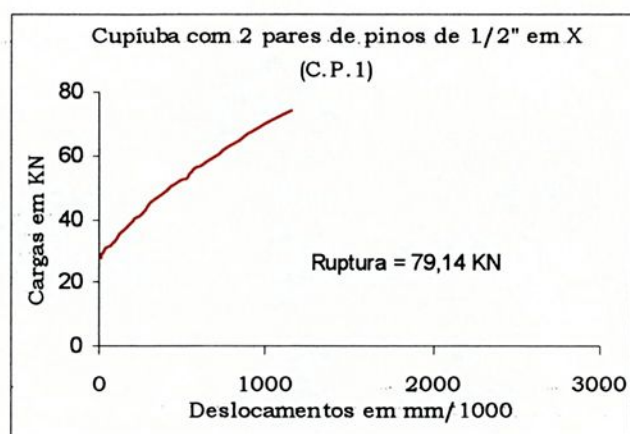


f) Parafusos em X

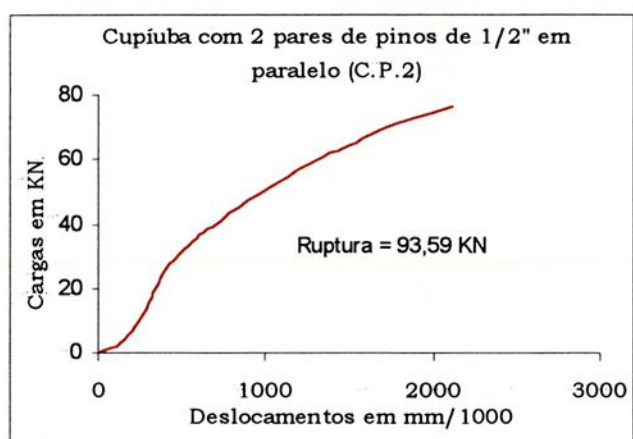
Fig.16 - Gráficos de conectores tipo 4



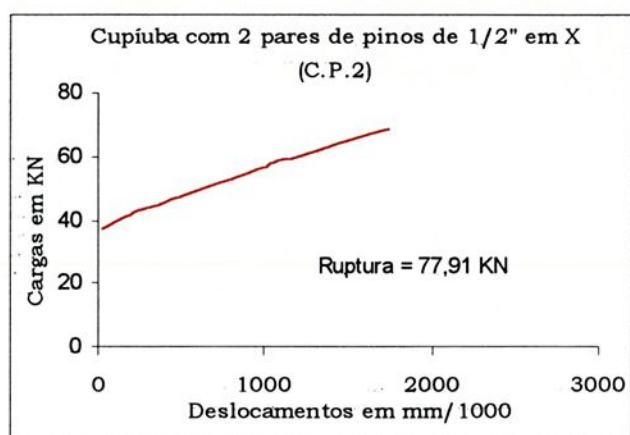
a) Pinos em paralelo



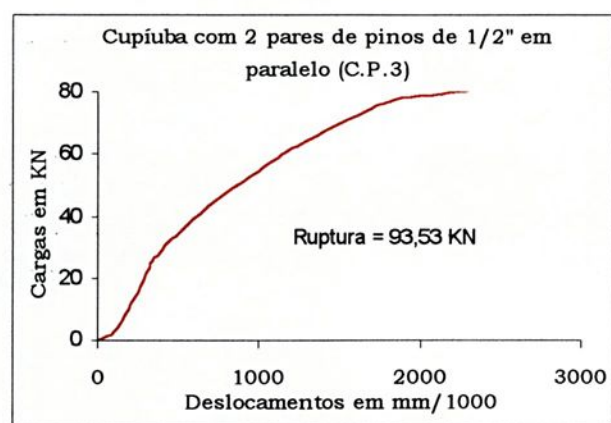
b) Pinos em X



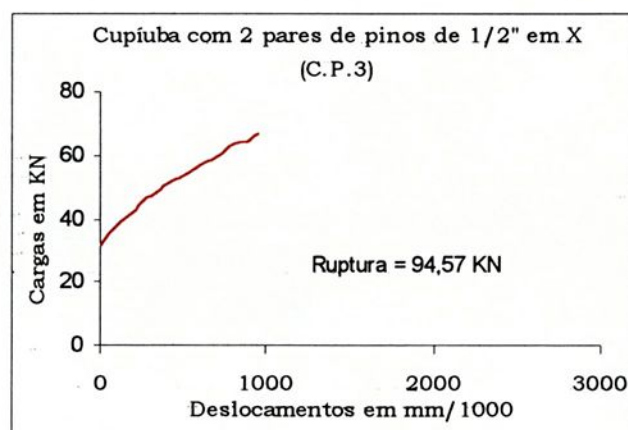
c) Pinos em paralelo



d) Pinos em X

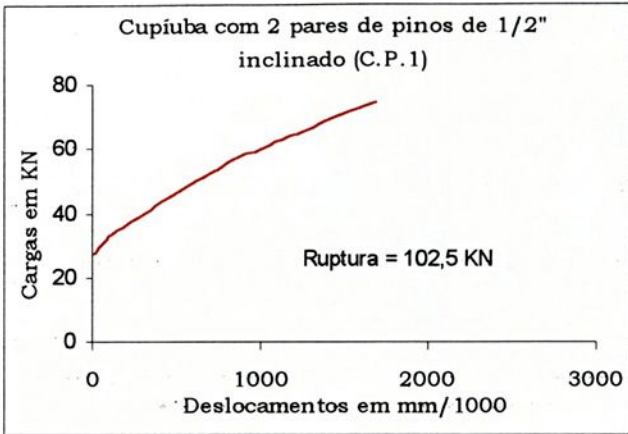


e) Pinos em paralelo

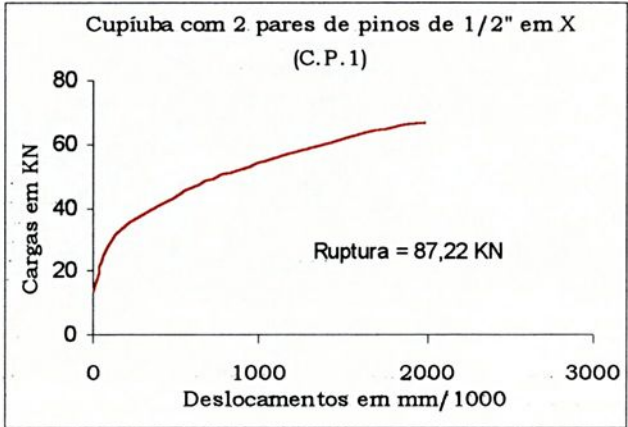


f) Pinos em X

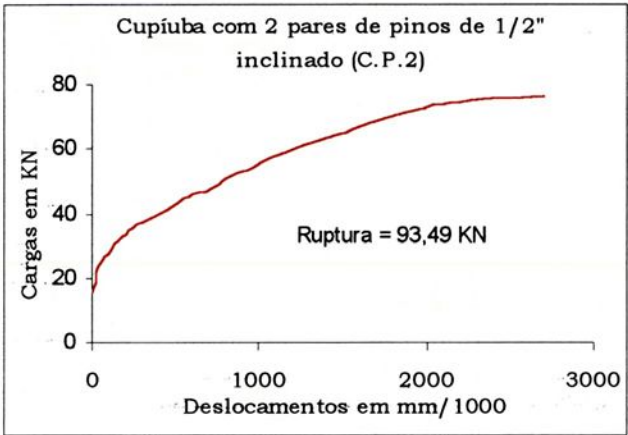
Fig.17 - Gráficos de conectores tipo 5



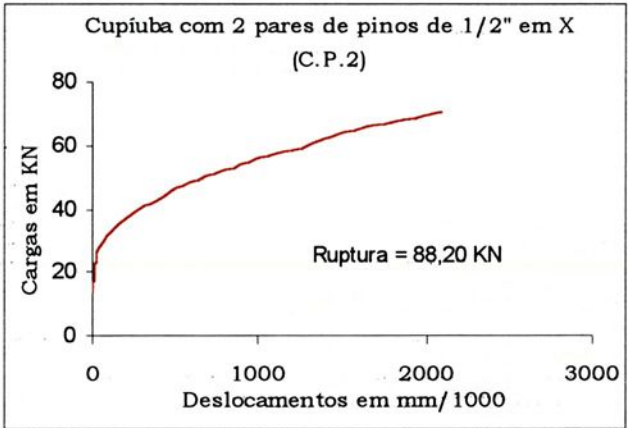
a) Pinos inclinado



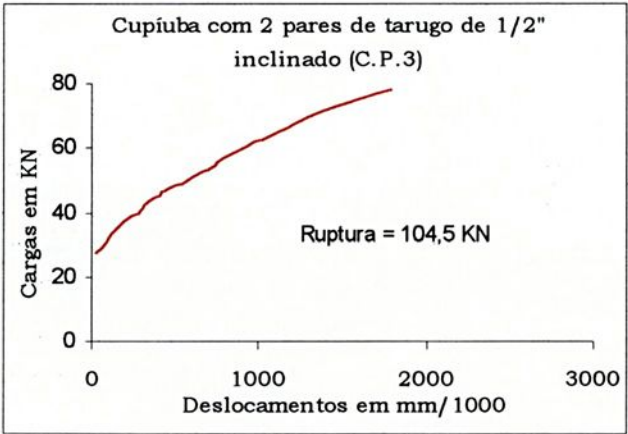
b) Pinos em X



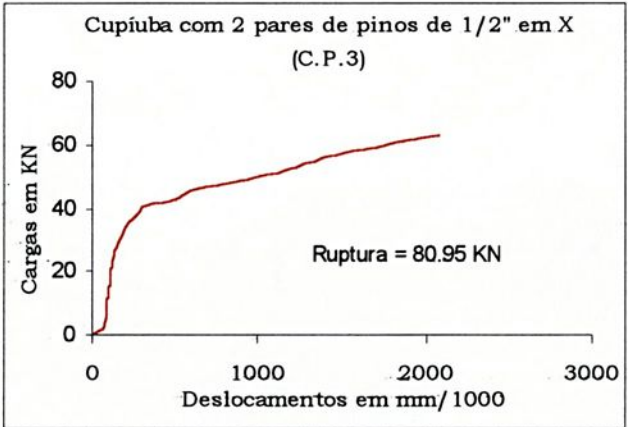
c) Pinos inclinado



d) Pinos em X



e) Pinos inclinado



f) Pinos em X

3.6 - Modo de ruptura

O modo de ruptura observado nos corpos de prova mostra-se como um indicativo dos elementos são preponderantes na ligação. A aplicação de carga foi prosseguida normalmente até o rompimento dos corpos de prova, onde apresentavam grandes deslocamentos.

Todos os corpos de prova com ligação de pregos ou de parafuso de 3/8", apresentaram características semelhante em seu modo de ruptura, evidenciando esmagamento por embutimento dos conectores na madeira. O concreto, por ser de boa qualidade, permaneceu intacto. Os conectores de 1/2", parafusos e pinos, apresentaram, também, embutimento dos conectores na madeira e só esmagaram o concreto quando próximo da carga de ruptura onde o deslocamento entre as peças era superior a 10 mm.

3.7 - O Módulo de deslizamento da ligação

A norma brasileira NBR 7190:97 é omissa quanto a normalização de corpos de prova em estruturas mistas de madeira-concreto. No entanto, para o procedimento da determinação do módulo de deslizamento da ligação utilizou-se o item B.8.4 da NBR 7190:97, que apresenta o procedimento para ensaio de compressão paralela às fibras. Através das curvas obtidas experimentalmente, carga x deslizamento, obtém-se o módulo de deslizamento K, através da secante de 10% e 50% da força de ruptura da ligação e sua respectiva deformação.

$$K = \frac{\Delta F_s}{\Delta \delta} = \frac{50\% F_s - 10\% F_s}{\Delta 50\% \delta - \Delta 10\% \delta}$$

A tabela 4 apresenta os valores dos módulos de deslocamento obtidos através dos ensaios, para vários tipos de conectores e suas disposições nos corpos de prova.



Tabela.4 – Módulo de deslizamento (K)

Espécie de madeira	Tipo de Conector	Módulo de deslizamento em relação a forma de instalação do conector		
		Paralelo (KN/mm)	X (KN/mm)	Inclinado (KN/mm)
Cupiúba	1	21,34	103,57	-
	2	10,67	117,15	-
	3	39,13	107,31	-
	4	65,38	105,23	-
	5	-	92,96	58,44

3.8 – Análise e discussões preliminares

Esse estudo preliminar demonstrou uma boa eficiência dos conectores ensaiados, destacando-se os pinos de aço em relação aos demais conectores, que demonstraram uma grande capacidade de carga e uma excelente rigidez na ligação. Por serem extraídos de barras de aço de construção, seu custo é muito inferior em relação ao prego e aos parafusos estudados, tornando-se plenamente viável a sua aplicação em grandes quantidades nas estruturas correntes.

Os estudos com os pregos apresentaram baixa capacidade de carga e grande deslocamento na ligação entre a madeira e o concreto. Fica-se limitado a uma maior capacidade de carga, pelo pequeno diâmetro do prego encontrado comercialmente. Pode-se indicar a sua utilização para pequenas estruturas como pisos residenciais de madeira e concreto.

Os ensaios com parafusos auto atarrachantes demonstraram grande capacidade de carga e melhor rigidez da ligação em relação aos pregos. Cabe salientar que a maneira como foram

colocados os parafusos nos C.Ps. influíu de forma considerável na deformação da ligação. Os C.Ps. com parafusos perpendiculares à madeira apresentaram grandes deslocamentos iniciais e ao longo do carregamento, enquanto que os C.Ps. com parafusos colocados em forma de x não apresentaram deslocamento inicial e um pequeno deslocamento ao longo do ensaio.

Desta forma, pode-se concluir que a colocação dos conectores em x são menos deformáveis, trabalhando a compressão e a tração simultaneamente. Este fato se confirmou nos ensaios com os pinos de aço. Estes apresentaram maior capacidade de carga que os parafusos de mesmo diâmetro com uma rigidez muito superior.

Surgiu então a perspectiva de uma nova configuração dos pinos nos C.Ps. Ao invés de fazer um x, foi colocado os pinos com inclinação de 50° na direção de trabalho à compressão e o resultado encontrado em comparação com os C.Ps. de conectores em x foi superior quanto a resistência e rigidez semelhante.

Os Módulos de deslizamento K encontrados para os conectores são muito eficientes, principalmente dos pinos de aço, demonstrando a grande rigidez conseguida na ligação desses dois materiais madeira-concreto.

A continuidade desta investigação em vigas mistas utilizando também outras espécies de madeira e pesquisando o espaçamento mínimo entre os conectores, trará uma contribuição significativa para o cálculo de estruturas mista de madeira e concreto.



Capítulo 4

Estudo das Vigas Mistas de Madeira-Concreto Interligadas por Parafusos

4.1 Introdução

A presença de estruturas compostas de madeira-concreto é bastante notada em alguns países, principalmente da Europa e Oriente Médio, além dos Estados Unidos, sendo utilizadas em estruturas de pequeno e grande porte, ou seja, desde residências até pontes, apresentando grandes vantagens em relação às estruturas convencionais.

Nesse caso, as vigas de seção T são mais utilizadas, com a mesa de concreto transmitindo essencialmente esforços de compressão, enquanto que a alma de madeira transmite essencialmente esforços de tração. Desta forma, ambos os materiais são utilizados racionalmente onde suas propriedades de resistência e rigidez são mais favoráveis.

Existe, entretanto, um certo desconhecimento no comportamento mecânico deste tipo de estrutura mista. Na interface entre estes materiais, a definição dos valores do deslizamento relativo entre as partes que afetará a rigidez e a capacidade resistente devem ser considerados. O comportamento de seção mista será assegurado pelo sistema de ligação, cuja finalidade é fazer com que os dois materiais trabalhem conjuntamente, tornando possível a transferência de esforços de cisalhamento horizontal, bem como impedir o desprendimento vertical das duas peças. Mediante o emprego de adesivo epóxi na superfície de contato dos materiais, pode-se obter um sistema de ligação rígida. Este sistema, além de não dar confiabilidade na união dos dois materiais, é oneroso e requer uma mão de obra especializada. Pode-se, ainda, optar por sistema de ligação flexível, através do qual ocorrerão pequenos deslizamentos horizontais entre os dois materiais, o que é possível mediante emprego de elementos metálicos tais como: pregos, parafusos, anéis de aço e chapas dentadas, conforme apresentando em Ceccotti (1995).

Do ponto de vista do comportamento estrutural, as ligações rígidas asseguram a existência de apenas uma linha neutra sobre a seção transversal. Por outro lado, nas estruturas mistas com ligações flexíveis haverá dois eixos neutros



e, proporcionalmente à flexibilidade da conexão, dar-se-á uma redução do produto de rigidez teórico considerado para a seção plena. Devido a facilidade e ao menor custo de instalação dos conectores metálicos, tem-se um maior número de pesquisas e aplicações já realizadas de estruturas em concreto-madeira com esse tipo de ligação.

Nas pontes, principalmente, aquelas localizadas nas áreas rurais, que geralmente são construídas de madeira, o sistema em concreto-madeira pode oferecer benefícios no sentido de aumentar a capacidade de carregamento, bem como prolongar a sua vida útil por propiciar proteção aos efeitos de abrasão e intemperismo Soriano e Mascia (1999). Essa técnica construtiva já tem sido adotada, por exemplo nos EUA descreve Mccullough (1943). Também, mais recentemente, na Austrália, onde algumas estruturas de pontes em madeira vêm sendo transformadas em estruturas mistas de concreto-madeira, conforme descrevem Yttrup e Nolan (1999).

4.2 Objetivos

Este capítulo apresenta uma análise teórico-experimental de quatro vigas T de madeira-concreto, sendo duas vigas com a madeira *Pinus oocarpa* e duas com madeira *Eucalypto grandis*, que tem por objetivo:

- Determinação das tensões normais e deslocamentos verticais para a seção no meio do vão da viga, parcialmente composta segundo:

Norma alemã DIN 1052/73

Norma Brasileira NBR 7190/97

Valores obtidos experimentalmente no ensaio da viga.

Comparação e análise dos resultados obtidos.



4.3 Caracterização dos materiais

4.3.1 Concreto

Produzido com cimento CP32, utilizando o mesmo traço dos corpos de prova de compressão do tipo “push-out”, ou seja 1:2,4:3,8. Resistência e módulo de deformação longitudinal, conforme NBR 6118/82, indicados na Tabela 1.

$$E_c = 6600\sqrt{f_{cj} + 3,5} \text{ Mpa}$$

Tabela 1 - Caracterização do concreto

Tipo de VIGA	Resistência média à compressão (MPa)	Módulo de deformação longitudinal secante (MPa)
Pinus 1	43,8	45000
Pinus 2	43,01	44500
Eucalipto 1	30,0	36000
Eucalipto 2	31,1	38000

4.3.2 Madeira

As vigas de madeira para a composição das vigas mistas possuíam as seguintes dimensões: Pinus oocarpa 210cm x15,7cm x 5,6cm, pertencente à classe C30 das coníferas e Eucalipto grandis 210cm x 15,3cm x 5,8cm, pertencente à Classe C40 das dicotiledôneas, segundo NBR 7190/97. A resistência à compressão paralela as fibras e módulo de deformação longitudinal, para a presente madeira com umidade em torno de 12%, foram obtidos através de ensaio de compressão paralelo as fibras e ensaio de flexão das vigas de pinus e eucalipto, cujos resultados estão apresentados na Tabela 2.



Tabela 2- Caracterização da madeira

Tipo de Madeira	ρ kg/m ³	Resistência à compressão paralela às fibras (MPa)	Módulo de elasticidade à flexão (MPa)
Pinus	516	42,4	6415
Eucalipto	703	49,6	18430

4.3.3 Conectores

Os conectores utilizados são parafusos auto atarrachantes comerciais da marca Ciser e Rex, com diâmetro de 1/2 " e comprimento de 12,5cm, com diâmetro interno de rosca igual a 9,2 mm . O diâmetro para a pré-furação foi de 9,5 mm.

4.3.4 Armadura construtiva

Armadura longitudinal composta por 4 ϕ 6.3 mm e estribos de 3 x 27 cm ϕ 4.2 mm colocados a cada 10 cm. A figura 01 mostra a armadura da mesa de concreto.

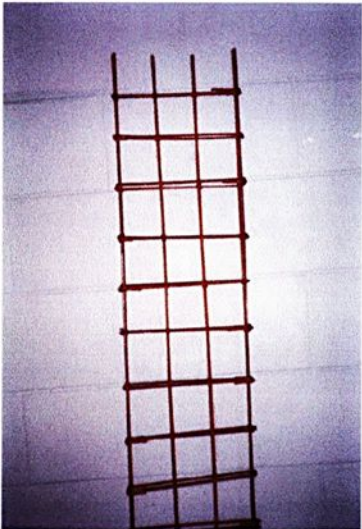


Figura 01 – Armadura da mesa da viga mista

4.4 Montagem das vigas mistas

As vigas foram confeccionadas com uma mesa em concreto medindo 30cm por 5cm , e uma viga de madeira de 5,8cm x 15,3 cm de Eucalipto ou 5,7cm x 15,6 cm para a de Pinus. A viga de madeira foi fixada à mesa através de duas linhas de parafusos colocados na madeira com uma inclinação de 50 graus, espaçados de 10 cm , penetrando na madeira 6,5 cm, igual ao comprimento da rosca. O comprimento total da viga é de 2,10 m e a distância entre apoios de 2,0 m. A figura 02 apresenta a viga de madeira com os parafusos sendo instalados ao longo de seu comprimento.

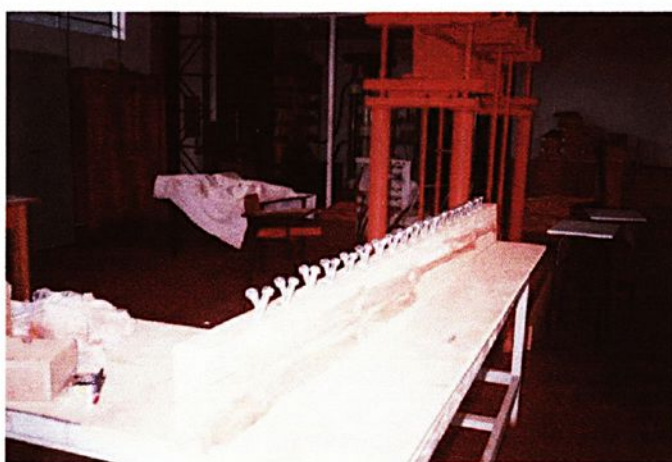


Figura 02 – Colocação dos parafusos na viga de madeira

Foi confeccionada uma forma para a concretagem da mesa da viga. Então posicionou-se sobre ela a viga de madeira com os parafusos instalados, figura 03.

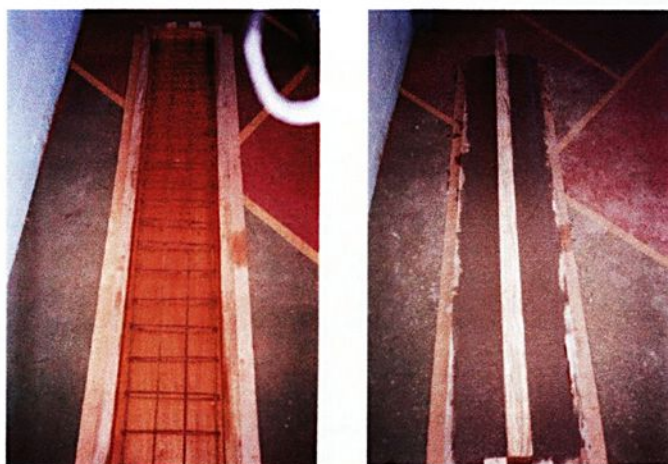


Figura 03 – Concretagem da viga

As vigas foram concretadas em épocas diferentes, e após a cura, foram instrumentadas na seção transversal central, com extensômetros elétricos nos pontos **A**, **B** em cada lado da viga de madeira e nos pontos **C** e **D** na mesa de concreto, como mostra a figura 04

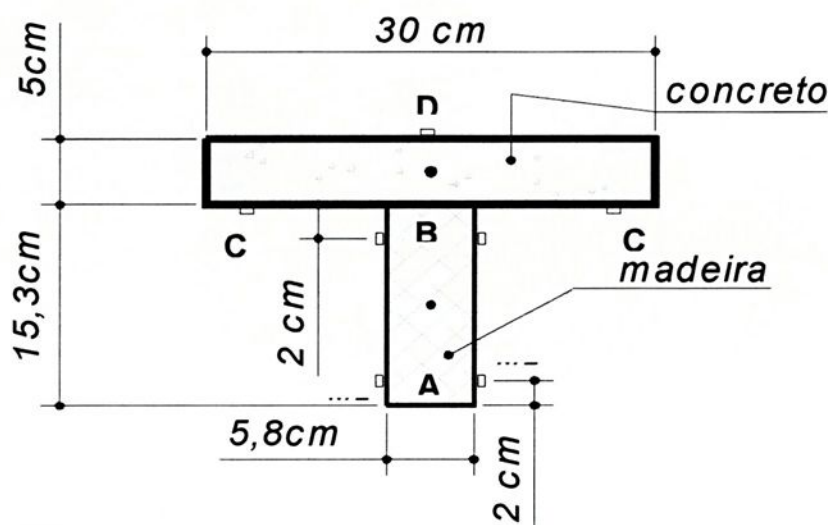


Figura 04 – Instrumentação da viga

4.5 Procedimento de ensaio das vigas mistas

Com a viga instrumentada, foi montado um sistema com pórticos sobre a laje de reação, com um atuador hidráulico de capacidade de 150 kN, acoplado a um anel dinamométrico com capacidade de 50 kN para os ensaios iniciais e substituído por uma célula de carga, com capacidade de 200 kN, para os ensaios com carregamento até a ruptura. A viga foi posicionada sobre apoios roletados, simulando o apoio fixo e outro móvel. Sistemas de contraventamentos foram instalados para prevenir a possível perda de estabilidade perto da ruptura. Foi instalado um relógio comparador com precisão 100/mm sob a seção transversal central, para a leitura da flecha da viga. Outros dois relógios comparadores, com precisão de 1000/mm, foram instalados nas extremidades das vigas com a finalidade de medir o deslocamento horizontal na interface entre a madeira e o concreto. A figura 05 mostra uma viga pronta para ser ensaiada.

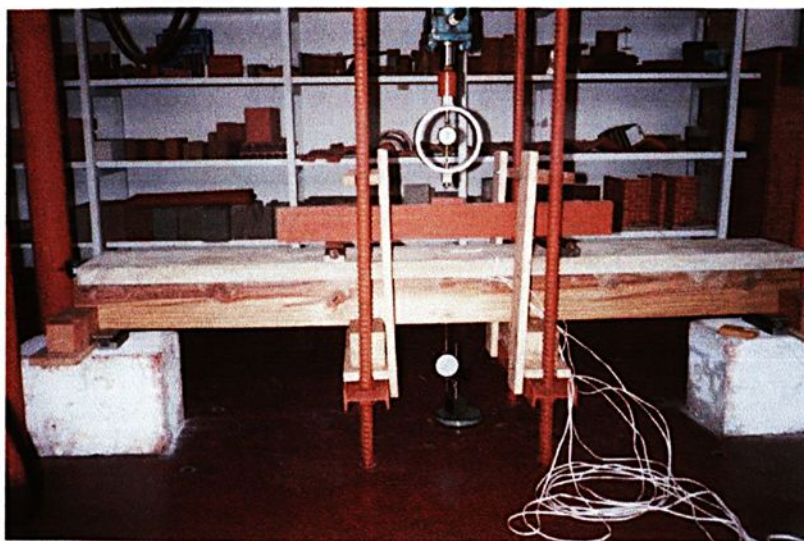


Figura 05 – Viga mista preparada para o ensaio

Os ensaios das vigas foram realizados no Laboratório de Estruturas da FEIS. Os estágios de carregamento de 2,5 e 5 kN, foram inicialmente para cargas concentradas no meio do vão, para flecha não superior a $L/500$, limitação esta para carga acidental no concreto. Em seguida, os carregamentos eram realizados em terços de vão, para uma flecha central de $L/300$, limitação para carga permanente no concreto. Finalmente, fez-se o carregamento na viga até atingir a ruptura, com carga de 5KN em 5KN, realizando-se as leituras dos extensômetros e dos relógios comparadores.

4.5.1 Vigas de Pinus

As duas vigas de Pinus foram ensaiadas conforme descrito no item anterior e apresentaram resultados na ruptura bem diferentes, tabela 3.

Tabela 3 – Carga de ruptura das vigas mistas pinus-concreto

Vigas Mistas	Carga de ruptura (daN)
Pinus 1	7940
Pinus 2	3710

A figura 06 mostra em detalhe, o relógio comparador para medir o deslizamento entre o concreto e a madeira na extremidade da viga.

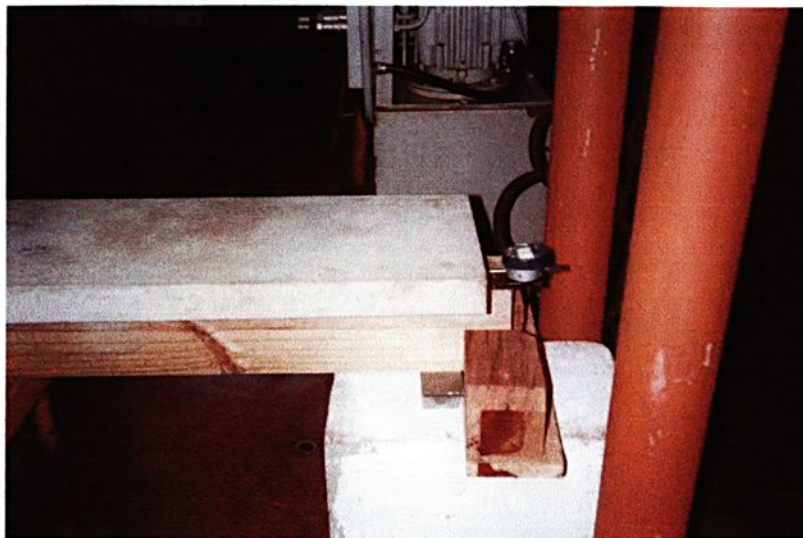


Figura 06 – Medição do deslizamento entre o concreto e a madeira

A ruptura da viga de Pinus 1, se deu por tração na peça de madeira em uma região sem nó e depois devido ao grande deslocamento ocasionou a ruptura do concreto por compressão, apresentado na figura 07.



Figura 07 – Ruptura da viga mista 1 de pinus e concreto

A viga mista de Pinus 2 apresentou um valor de ruptura em torno de 46%, bem inferior em relação a primeira viga. Este fato não foi surpresa, devido a viga possuir um nó na madeira de tamanho considerável na seção transversal central, onde ocorreu a ruptura por tração. As figuras 08 e 09 apresentam os detalhes da ruptura.



Figura 08 – Ruptura da viga e detalhe do nó



Figura 09 – Vista da ruptura da outra face da viga mista 2

4.5.2 Vigas de Eucalipto

As vigas mistas de Eucalipto e concreto foram ensaiadas seguindo o mesmo procedimento das vigas mista de Pinus e concreto. A carga de ruptura da viga 2 é de 59% em relação a viga 1. Possivelmente este resultado mais baixo da viga 2, tenha sofrido a influência do grande empenamento em que se encontrava a viga de madeira. A tabela 4 mostra a carga de ruptura das vigas 1 e 2.

Tabela 4 – Carga de ruptura das vigas mistas eucalipto-concreto

Vigas Mistas	Carga de ruptura (daN)
Eucalipto 1	15800
Eucalipto 2	9300

O modo de ruptura das duas vigas mista de eucalipto e concreto foram semelhantes, rompendo por cisalhamento na altura da extremidade dos parafusos fixados na madeira. O início do cisalhamento se deu em um dos apoios, chegando até o meio da viga. Persistindo com o carregamento, a viga não ganhou mais carga apenas aumento da deformação e em seguida houve uma ruptura por tração na peça de madeira. A figura 10 apresenta o início da ruptura por cisalhamento da viga mista.

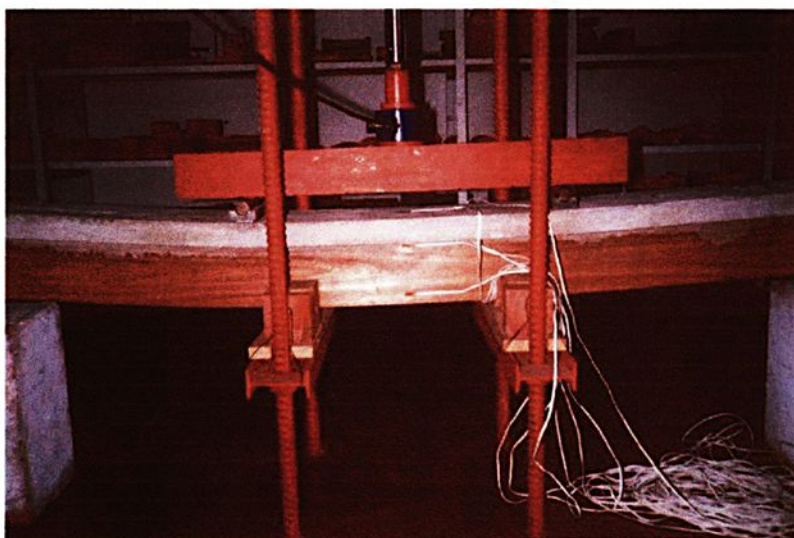


Figura 10 – Ruptura por cisalhamento

A figura 11 mostra a ruptura por cisalhamento e por tração da peça de madeira e compressão na mesa de concreto.



Figura 11 – Ruptura total da viga mista

A figura 12 mostra com maior detalhe o cisalhamento ocorrido na peça de madeira.



Figura 12 – Detalhe do cisalhamento na madeira

A figura 13 mostra a parte frontal da viga mista 2 com detalhe para o empenamento da peça de madeira.

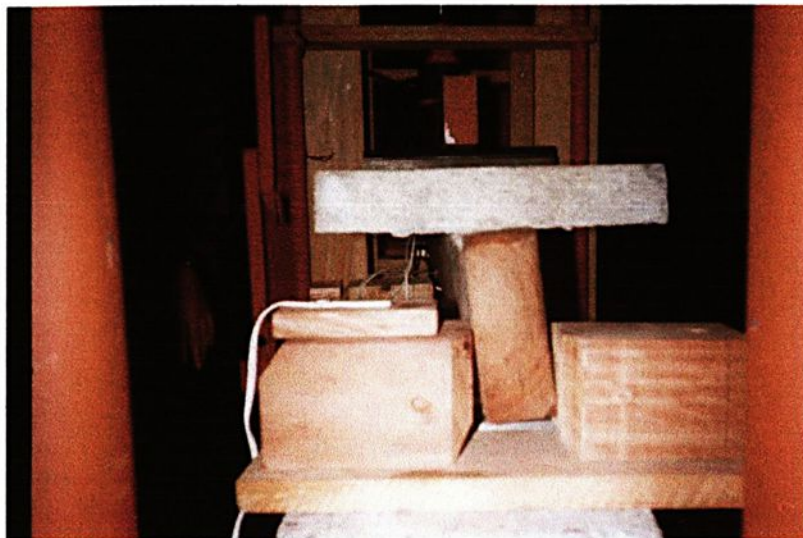


Figura 13 – Empenamento da peça de madeira

Os resultados dos ensaios realizados, bem como todas as deformações lidas para as vigas mistas de pinus-concreto, encontram-se no anexo A. Para as vigas mistas de eucalipto-concreto os resultados são apresentados no anexo B.

4.6 Considerações das normas NBR 7190/97 e DIN 1052/73

4.6.1 NBR 7190/97

A norma brasileira, no item 8.6.1 alínea a), diz “entre centro de dois pinos situados em uma mesma linha paralela à direção das fibras: pregos, cavilhas e parafusos o espaçamento mínimo recomendado é de $6d$ (7,62 cm / 10,0 cm)”, no mesmo item alínea d) diz “entre os centros de dois pinos situados em duas linhas paralelas às fibras, medido perpendicularmente às fibras, o espaçamento mínimo será de $3d$ (3.81 cm / 2,0 cm)” e na alínea e) diz “do centro de qualquer pino à borda lateral da peça, medido perpendicularmente às fibras, quando o esforço transmitido for paralelo às fibras, a distância mínima será de $1,5d$ (1.91 cm / 2 cm)”. A penetração do parafuso na madeira e os ensaios de arrancamento do parafuso

realizados, demonstraram que a penetração igual ao comprimento da rosca é suficiente. Os valores depois da / nos parênteses correspondem às dimensões utilizadas na viga ensaiada.

4.6.2 DIN 1052/73

Tratando-se da norma alemã, na tabela 15 item 11.3.13, tem-se que as distâncias mínimas entre os parafusos, na direção paralela às fibras é de $5d_n$ (6,35 cm), enquanto que entre os parafusos e a borda da madeira é de $3d_n$ (3,81 cm).

Assim sendo, as distâncias entre parafusos de 10,0 cm atende às duas normas. A distância entre linhas de conectores e a borda da viga medida perpendicular às fibras de 2 cm atende a norma NBR7190/97 e não atende a norma DIN 1052/73.

4.7 Vigas de seção composta

4.7.1 Introdução

Uma viga composta requer um tratamento diferenciado nos cálculos, já que cada material possui suas próprias características (propriedades elásticas e de resistência). No caso de vigas compostas totalmente rígidas, utiliza-se o método da seção transformada, sucintamente discutida em seguida.

4.7.2 O método da seção transformada

No método da seção transformada a seção real é convertida para efeito de cálculo em outra equivalente, homogênea composta, de apenas um material escolhido como referência. Essa nova seção é denominada seção transformada ou equivalente.

Para que a seção transformada seja equivalente à seção real, segundo Timoshenko e Gere (1960), é necessário que ocorram simultaneamente:



- O eixo neutro esteja na mesma posição na seção transformada e real
- A capacidade de resistir ao momento fletor de serviço, seja a mesma na seção transformada e real.

No desenvolvimento deste trabalho, tomou-se a madeira como referência. A seção transformada, portanto é plenamente composta por este material possuindo então, um módulo de deformação longitudinal (E) igual ao módulo de deformação longitudinal da madeira (E_w).

Define-se razão modular n de um material da seção composta como sendo a razão entre o módulo de deformação longitudinal desse material e o módulo de deformação longitudinal do material escolhido como referência . Dessa forma a razão modular do concreto é definida pela expressão :

$$n = \frac{E_c}{E_w} \quad [1]$$

Determina-se a posição do eixo neutro, a partir da borda superior da seção, conforme a expressão :

$$\bar{y} = \frac{A_w \bar{y}_w + n A_c \bar{y}_c}{A_w + n A_c} \quad [2]$$

onde :

A_w e A_c = área da seção transversal da madeira e do concreto, respectivamente;

$\bar{y}_c$ e $\bar{y}_w$ = distância do centro de gravidade do concreto e da madeira, respectivamente, até a borda superior da seção.

A determinação do momento de inércia da seção totalmente rígida é dada por:

$$I_{\infty} = I_w + n I_c + A_w a_w^2 + n A_c a_c^2 \quad [3]$$

onde :

I_w e I_c = momento de inércia da madeira e do concreto, respectivamente;

a_w e a_c = distâncias obtidas pelas expressões [6.a] e [6.b]



4.7.3 Método segundo a norma alemã DIN 1052/73

Na determinação do módulo de deslizamento K , entre a madeira e o concreto, é definido segundo Carpretti e Ceccotti (1996) como sendo:

$$K = \frac{F}{v} \quad [4]$$

onde:

v = deslizamento no conector

F = força de cisalhamento no conector

Para a determinação do módulo de deslizamento K da ligação com parafusos auto atarrachantes de 1/2", foram utilizados os valores dos ensaios realizados no capítulo 2, onde a avaliação da resistência última e do comportamento força-escorregamento, para esses tipos de conectores, foi feita através de ensaios padronizados do tipo "push-out", em corpos de prova de ensaio semelhante aos apresentados na norma inglesa BS 5400. Como resultado da pesquisa realizada foi encontrado um valor para **$K = 68 \text{ kN/mm}$** , para 4 parafusos, um par em cada face do corpo de prova. Para o cálculo das vigas serão considerados pares de parafusos formando com a inclinação entre si, um X. Portanto o valor do módulo de deslizamento a ser considerado no cálculo será **$K = 34 \text{ KN/mm}$** .

4.7.4 Procedimento de cálculo

No dimensionamento de seções pregadas, segundo a DIN 1052/73, emprega-se nas expressões um coeficiente k , conforme Tabela 3 daquela Norma (item 5.4.1). A determinação desse coeficiente acha-se adaptada no trabalho de Soriano, Dinten, Tacitano, Mascia e Pinto Jr., para as devidas considerações de seção não homogênea (mista).

A figura 14 representa o diagrama de tensões para a seção transversal.

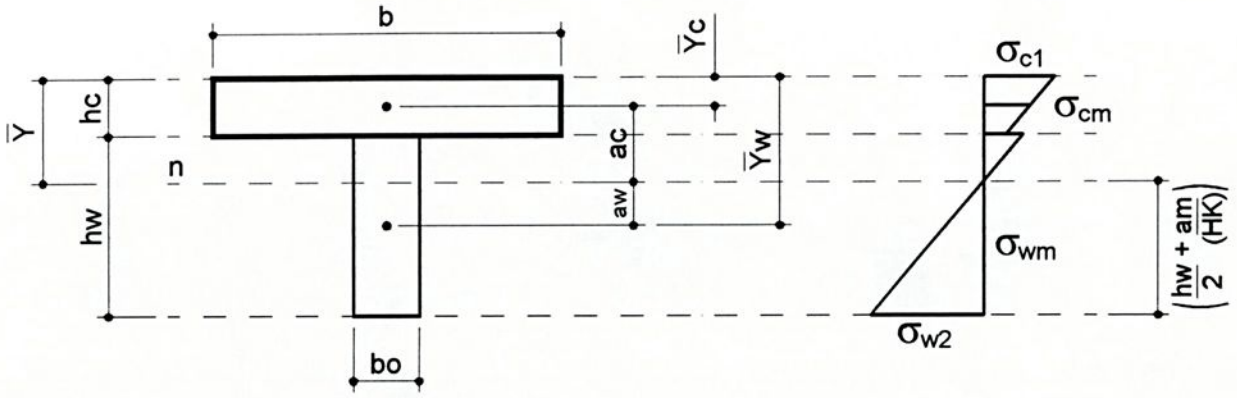


Figura 14 - Seção Transversal – Diagrama de Tensões Normais

$$ki = \frac{\pi^2 * s * E_c * A_c * E_w * A_w}{I^2 * K * (E_c * A_c + E_w * A_w)} \quad [5]$$

onde :

s = espaçamento entre conectores

$$a_c = \bar{y} - \frac{h_c}{2} \quad [6.a]$$

$$a_w = h_c + \frac{h_w}{2} - \bar{y} \quad [6.b]$$

O momento de inércia efetivo é determinado por:

$$I_{ef} = I_w + n_c I_c + \frac{1}{1 + ki} (n_c A_c a_c^2 + A_w a_w^2) \quad [7]$$

Determinam-se as tensões normais no concreto, indicadas na Figura 1, através das equações:

$$\sigma_{c1} = n_c \frac{M}{I_{ef}} \left(\frac{a_c}{1 + ki} + \frac{h_c}{2} \right) \quad [8.a]$$

$$\sigma_{cm} = n_c \frac{M}{I_{ef}} \left(\frac{a_c}{1 + ki} \right) \quad [8.b]$$

No caso da madeira, tem-se:

$$\sigma_{wm} = \frac{M}{I_{ef}} \left(\frac{a_w}{1+ki} \right) \quad [9.a]$$

$$\sigma_{w2} = \frac{M}{I_{ef}} \left(\frac{a_w}{1+ki} + \frac{h_w}{2} \right) \quad [9.b]$$

A equação para a determinação do deslocamento vertical no meio do vão, é dada por:

$$\Delta_{(x=l/2)} = \frac{P \left(\frac{l}{3} \right)}{24 E_w I_{ef}} \left(3l^3 - 4 \left(\frac{l}{3} \right)^2 \right) \quad [10]$$

4.7.5 Método segundo a norma brasileira NBR 7190/97

A NBR 7190/97, apresenta o valor do momento de inércia efetivo, como sendo:

$$I_{ef} = \alpha_t I_{\infty} \quad [11]$$

onde : $\alpha_t = 0.95$, para seções "T" (item 7.7.2 NBR7190/97)

A tensão normal em qualquer fibra de concreto, é expressa por :

$$\sigma_c = n_c \frac{M}{I_{ef}} y \quad [12]$$

já no caso da madeira a tensão normal é representada por:

$$\sigma_w = \frac{M}{I_{ef}} y \quad [13]$$

onde y = distância entre o centro de gravidade da seção transformada (eixo x_x) e a fibra considerada.

A determinação do deslocamento vertical faz-se utilizando a mesma expressão [10] , indicada pela norma alemã DIN 1052/73, usando o módulo de elasticidade efetivo $E_{ef} = K_{mod} \cdot E$ e momento de inércia de ligação rígida I_{∞}

Os valores de tensões normais e deformações verticais obtidos dos ensaios experimentais, calculados pela norma Din 1052/73 e pela norma NBR 7191/97 acham-se apresentados para os respectivos estágios de carregamento, para as vigas mistas de pinus-concreto no anexo A. Para as vigas mistas de eucalipto-concreto no anexo B e para uma viga mista de cupiuba-concreto no anexo C.

4.7.6 Método experimental

As tensões normais de compressão e de tração no concreto e na madeira foram calculadas nos pontos A,B,C e D, conforme figura 15 e 16 , O ponto A foram colocados dois extensômetros a dois centímetros acima da base da viga de madeira. No ponto B, dois extensômetros a dois centímetros abaixo da face superior da madeira. No ponto C, também foram empregados dois extensômetros, na base da mesa de concreto e na face superior da mesa de concreto, no ponto D, apenas um extensômetro na parte central. considerando-se um diagrama tensão x deformação linear com inclinação igual ao módulo de deformação longitudinal de cada material.

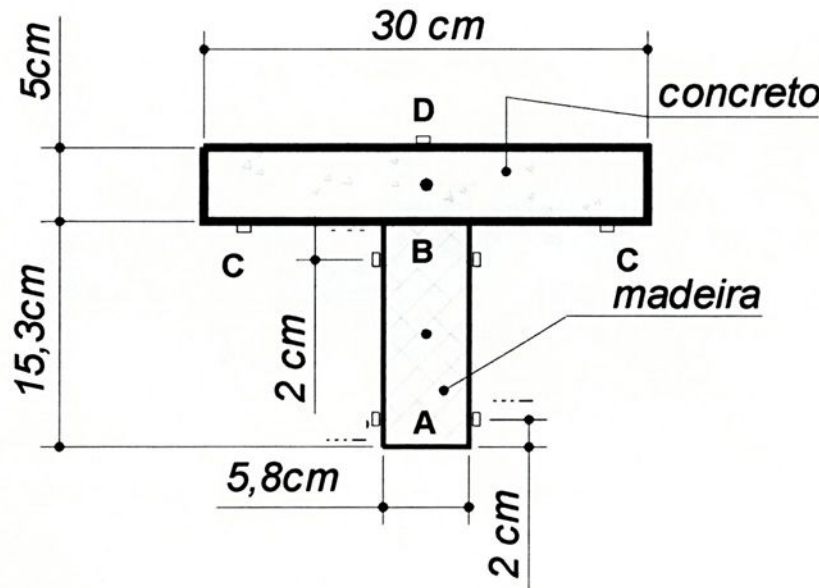


Figura 15 – Posicionamento dos extensômetros

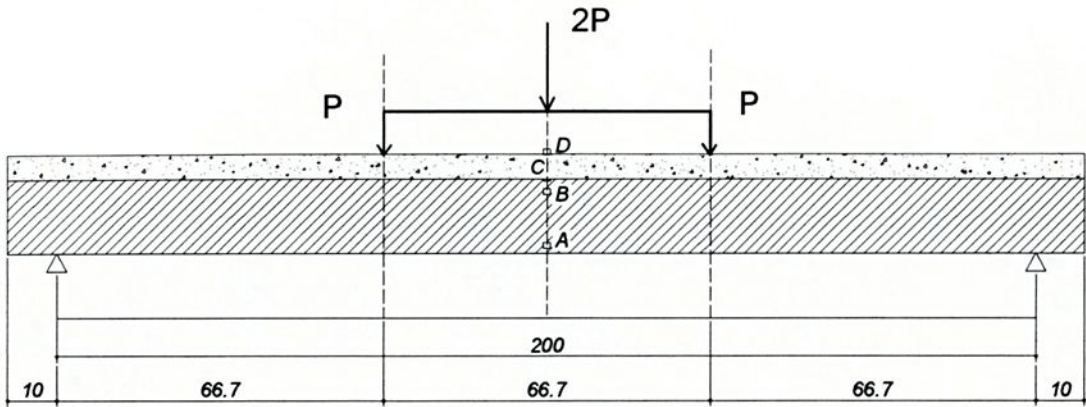


Figura 16 – Esquema estático e pontos instrumentados no meio da viga

4.8 Resultados experimentais e teóricos

Comparando os ensaios de flexão das vigas só de madeira, com as vigas mistas de madeira-concreto, com carregamento no meio do vão, podemos observar o aumento de rigidez que a viga mista obteve, mostrado na tabela 5

Tabela 5 – Aumento de rigidez da viga

Viga Mista	Aumento da Rigidez EI
1 Pinus-concreto	5,7 vezes
2 Pinus-concreto	6,8 vezes
1 Eucalípto-concreto	3,2 vezes
2 Eucalípto -concreto	3,3 vezes

O anexo A e anexo B apresentam a comparação entre os resultados obtidos segundo a DIN 1052/73, NBR 7190/97 e aplicação direta da Lei de Hooke, para as vigas mistas de pinus-concreto e eucalípto-concreto respectivamente. Sabendo-se que tais resultados referem-se à seção localizada no meio do vão da viga.

Capítulo 5

Estudo da Viga Mista de Madeira-Concreto Interligadas por Pinos de Ferro

5.1 Introdução

Os ensaios de compressão de corpos de prova de madeira-concreto, utilizando como conector de ligação ferro de construção do tipo CA-50B demonstraram boa eficiência e um ganho de resistência, principalmente quando são utilizados de forma inclinada em relação à peça de madeira. Como são conectores baratos, de fácil instalação e podem ser obtidos com qualquer comprimento para fazer a dobra de ancoragem no concreto, uma investigação de seu comportamento em vigas mistas fez-se necessário. Neste capítulo, será apresentado o estudo de uma viga mista de cupiúba e concreto, utilizando este tipo de conector.

5.2 Objetivo

Este capítulo apresenta uma análise teórico-experimental de uma viga T de madeira-concreto, sendo a madeira utilizada a Cupiúba. Tem por objetivo a determinação das tensões normais e deslocamentos verticais para a seção no meio do vão da viga, através da norma DIN 1052/73, norma brasileira NBR 7190/97 e valores obtidos experimentalmente, utilizando como conector de ligação pinos de ferro.

5.3 Caracterização dos materiais

5.3.1 Concreto

O concreto utilizado para a confecção da viga mista de cupiuba-concreto foi o mesmo empregado nas vigas estudadas anteriormente. A resistência e o módulo de deformação longitudinal, conforme NBR 6118/82, estão indicados na Tabela 1.



Tabela 1 - Caracterização do concreto

Tipo de VIGA	Resistência média à compressão (MPa)	Módulo de deformação longitudinal secante (MPa)
Cupiúba	44,6	45700

5.3.2 Madeira

A madeira nativa Goupia glabra, mais comumente chamada de Cupiúba, pertencente à Classe C40 das dicotiledôneas, foi utilizada para a composição da viga mista com as dimensões: 210cm x 15,2cm x 5,5cm. A resistência à compressão paralela as fibras e o módulo de deformação longitudinal, foram obtidos através de ensaio de compressão paralelo às fibras e ensaio de flexão da viga, cujos os resultados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2- Caracterização da madeira

Tipo de Madeira	ρ kg/m ³	Resistência à compressão paralela às fibras (MPa)	Módulo de elasticidade à flexão (MPa)
Cupiúba	827	52,4	10500

5.3.3 Conectores

Os conectores utilizados foram pinos cortados de barras de aço CA-50B, marca Gerdau, com diâmetro de 1/2 " e comprimento semelhantes ao dos parafusos, igual a 12,5cm. O diâmetro para a pré-furação foi de 11,0 mm, a penetração na madeira de 6,5cm e o espaçamento entre pinos foi de 10,0 cm. A quantidade de conectores utilizados nesta viga foi a metade comparada com as vigas mistas ligadas por parafusos. A figura 01 mostra os conectores colocados inclinados na viga de madeira.



Figura 01 – Viga com pinos de ferro

5.3.4 Armadura construtiva

Armadura longitudinal composta por 4 ϕ 6.3 mm e estribos de 3 x 27 cm ϕ 4.2 mm colocados a cada 10 cm. A figura 02 mostra a armadura da mesa de concreto posicionada na viga.



Figura 02 – Armadura da viga mista

5.4 Procedimento de ensaio da viga mista

A viga mista de cupiúba-concreto, após os 28 dias de cura do concreto, foi instrumentada de maneira semelhante as vigas mistas apresentadas no capítulo 4. Os estágios de carregamento de 2,5 e 5 kN, foram inicialmente para cargas concentradas no meio do vão, para flecha não superior a $L/500$. Em seguida os carregamentos eram realizados em terços de vão, para uma flecha central de $L/300$. Finalmente, fez-se o carregamento na viga até atingir a ruptura, com carga de 5KN em 5KN, realizando as leituras dos extensômetros e dos relógios comparadores. A tabela 3 apresenta a carga de ruptura da viga.

Tabela 3 – Carga de ruptura da viga mistas cupiúba-concreto

Viga Mista	Carga de ruptura (daN)
Cupiúba	5980

O modo de ruptura da viga mista se deu por tração na peça de madeira, embaixo dos apoios, com uma inclinação de aproximadamente 45° . A figura 03 mostra a ruptura da viga mista de cupiúba-concreto.



Figura 03 – Ruptura da viga mista

5.5 Resultados experimentais e teóricos

Comparando o ensaio de flexão da viga só de madeira, com a viga mista de madeira-concreto, com carregamento no meio do vão, podemos observar o aumento de rigidez que a viga mista obteve, mostrado na tabela 4

Tabela 4 – Aumento de rigidez da viga

Viga Mista	Aumento da Rigidez EI
Cupiúba-concreto	4,76 vezes

A comparação entre os resultados obtidos segundo a DIN 1052/73, NBR 7190/97 e aplicação direta da Lei de Hooke, para a vigas mista de cupiúba-concreto são apresentados no anexo C. Sabendo-se que tais resultados referem-se à seção localizada no meio do vão da viga.

Capítulo – 6

Apresentação dos Resultados de Ensaios e Calculados pelas Normas

6.1 Vigas de Pinus

Os resultados das tensões medidas nos ensaios para as viga mista 1 de Pinus-concreto, calculados pela norma DIN 1052/73, utilizando os módulos de deslizamentos de ensaios e também calculados pela norma brasileira NBR 7190/97, são apresentados na tabela 1. A figura 01 apresenta os gráficos das tensões da viga mista 1, para um carregamento de 3000 daN.

Tabela 1- Tensões normais da Viga de Pinus 1

Carga 2P (daN)	Ponto A (daN/cm ²)			Ponto B (daN/cm ²)			Ponto C (daN/cm ²)			Ponto D (daN/cm ²)		
	DIN 1052	NBR 7190	Real	DIN 1052	NBR 7190	Real	DIN 1052	NBR 7190	Real	DIN 1052	NBR 7190	Real
1000	48,37	50,66	23,6	3,06	7,77	4,46	41,37	30,32	19,80	-67,88	-61,71	-36,0
2000	96,74	101,3	69,2	6,13	15,53	28,98	82,73	60,63	150,1	-135,8	-123,4	-28,8
3000	145,4	152,0	101,1	9,19	23,30	33,85	124,1	90,94	154,8	-203,6	-185,1	-109,8
4000	193,5	202,7	129,3	12,25	31,07	40,41	165,4	121,3	165,4	-271,5	-246,9	-175,9
5000	241,8	253,3	175,0	15,32	38,83	61,5	206,8	151,6	283,9	-339,4	-308,6	-142,2
6000	290,2	303,9	211,2	18,38	46,60	70,97	248,2	181,9	322,0	-407,3	-370,3	-225,9

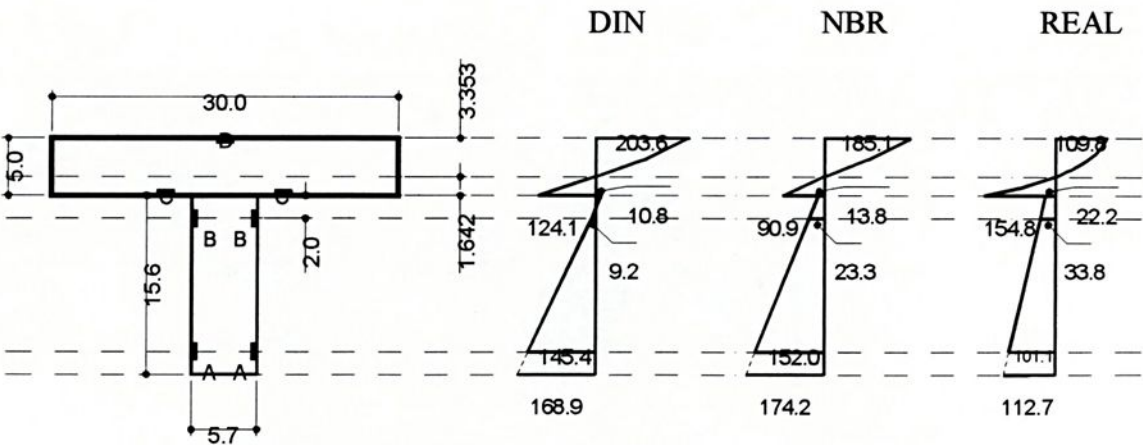


Figura 01 – Comparação das tensões da viga mista 1 de pinus-concreto

Os resultados das tensões medidas nos ensaios para a viga mista 2 de Pinus-concreto, calculados pela norma DIN 1052/73, utilizando os módulos de deslizamentos de ensaios e também calculados pela norma brasileira NBR 7190/97, são apresentados na tabela 2. A figura 02 apresenta os gráficos das tensões da viga mista 1, para um carregamento de 3000 daN.

Tabela 2 - Tensões normais da Viga de Pinus 2

Carga 2P (daN)	Ponto A (daN/cm ²)			Ponto B (daN/cm ²)			Ponto C (daN/cm ²)			Ponto D (daN/cm ²)		
	DIN	NBR	Real	DIN	NBR	Real	DIN	NBR	Real	DIN	NBR	Real
	1052	7190		1052	7190		1052	7190		1052	7190	
1000	46,77	41,82	24,03	3,89	10,2	3,79	45,62	35,39	5,79	-77,88	-66,19	-52,07
2000	93,54	83,64	45,58	7,77	20,4	8,51	91,23	70,78	11,13	-143,5	-132,4	-113,9
3000	140,3	125,4	67,58	11,66	31,6	13,46	136,8	106,2	10,68	-215,6	-198,6	-178,9
4000												

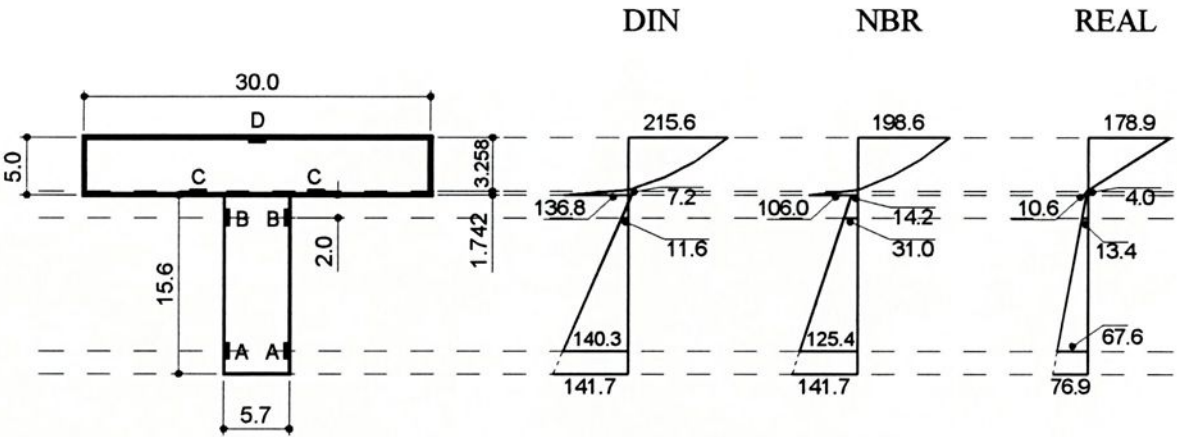


Figura 02 – Comparação das tensões da viga mista 2 de pinus-concreto

6.2 Vigas de Eucalipto

Os resultados das tensões medidas nos ensaios para a viga mista 1 de Eucalipto-concreto, calculados pela norma DIN 1052/73, utilizando os módulos de deslizamentos de ensaios e também calculados pela norma brasileira NBR 7190/97, são apresentados na tabela 3. A figura 03 apresenta os gráficos das tensões da viga mista 1, para um carregamento de 3000 daN.

Tabela 3- Tensões normais da Viga de Eucalipto 1

Carga 2P (daN)	Ponto A (daN/cm ²)			Ponto B (daN/cm ²)			Ponto C (daN/cm ²)			Ponto D (daN/cm ²)		
	DIN 1052	NBR 7190	Real	DIN 1052	NBR 7190	Real	DIN 1052	NBR 7190	Real	DIN 1052	NBR 7190	Real
1000	54,49	50,66	37,07	-9,64	7,77	0,19	13,06	0,32	-10,12	-39,60	-34,88	-33,99
2000	108,9	101,3	73,55	-19,28	15,53	0,39	26,12	0,65	-17,35	-72,21	-69,77	-65,44
3000	163,5	151,9	109,2	-28,93	23,30	0,92	39,18	0,97	-22,60	-118,8	-104,6	-94,36
4000	217,9	202,6	143,8	-38,57	31,07	-0,10	52,23	1,30	-35,07	-158,4	-139,5	-122,6
5000	272,5	253,3	179,9	-48,21	38,83	-4,75	65,29	1,62	-54,05	-198,0	-174,4	-153,4
6000	326,9	303,9	222,4	-57,85	46,60	-12,61	78,35	1,94	-71,95	-237,6	-209,3	-191,6

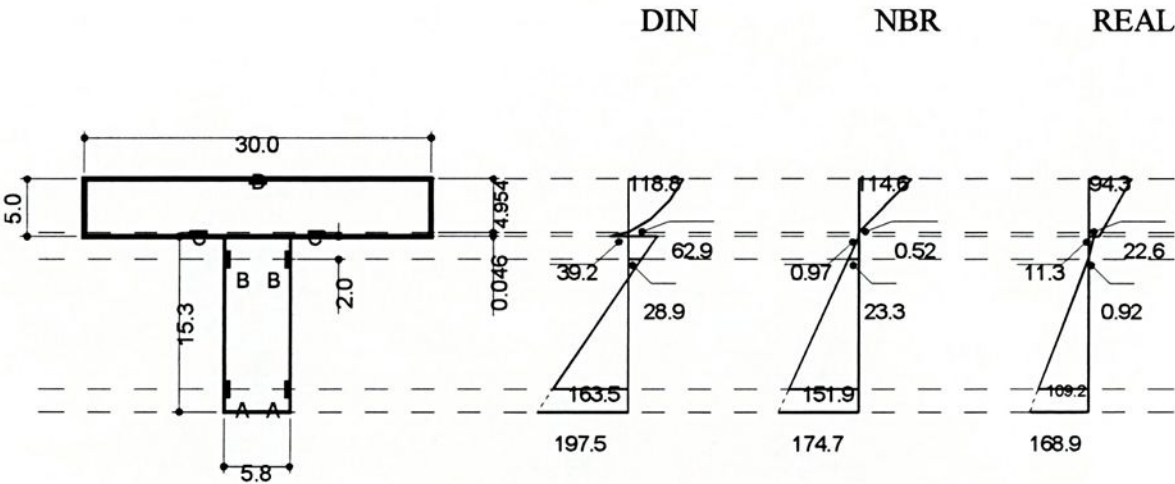


Figura 03 – Comparação das tensões da viga mista 1 de eucalipto-concreto

Os resultados das tensões medidas nos ensaios para a viga mista 2 de Eucalípto-concreto, calculados pela norma DIN 1052/73, utilizando os módulos de deslizamentos de ensaios e também calculados pela norma brasileira NBR 7190/97, são apresentados na tabela 4. A figura 04 apresenta os gráficos das tensões da viga mista 1, para um carregamento de 3000 daN.

Tabela 4- Tensões normais da Viga de Eucalípto 2

Carga 2P (daN)	Ponto A (daN/cm ²)			Ponto B (daN/cm ²)			Ponto C (daN/cm ²)			Ponto D (daN/cm ²)		
	DIN 1052	NBR 7190	Real	DIN 1052	NBR 7190	Real	DIN 1052	NBR 7190	Real	DIN 1052	NBR 7190	Real
1000	52,92	49,80	44,83	-7,57	8,52	2,04	17,71	2,63	3,80	-42,53	-37,13	-30,01
2000	105,8	99,59	81,60	-15,14	17,04	3,69	31,42	5,26	8,13	-85,06	-74,26	-56,76
3000	158,7	149,4	116,7	-22,71	25,56	6,62	47,13	7,90	12,47	-127,6	-111,4	-83,16
4000	211,7	199,2	152,2	-30,27	34,08	7,08	62,84	10,53	12,47	-170,1	-148,5	-108,8
5000	264,6	248,9	185,9	-37,84	42,60	6,89	78,56	13,16	9,94	-212,6	-185,6	-129,8
6000	317,5	298,7	231,3	-45,41	51,11	6,02	94,27	15,79	-2,71	-255,2	-222,8	-157,3

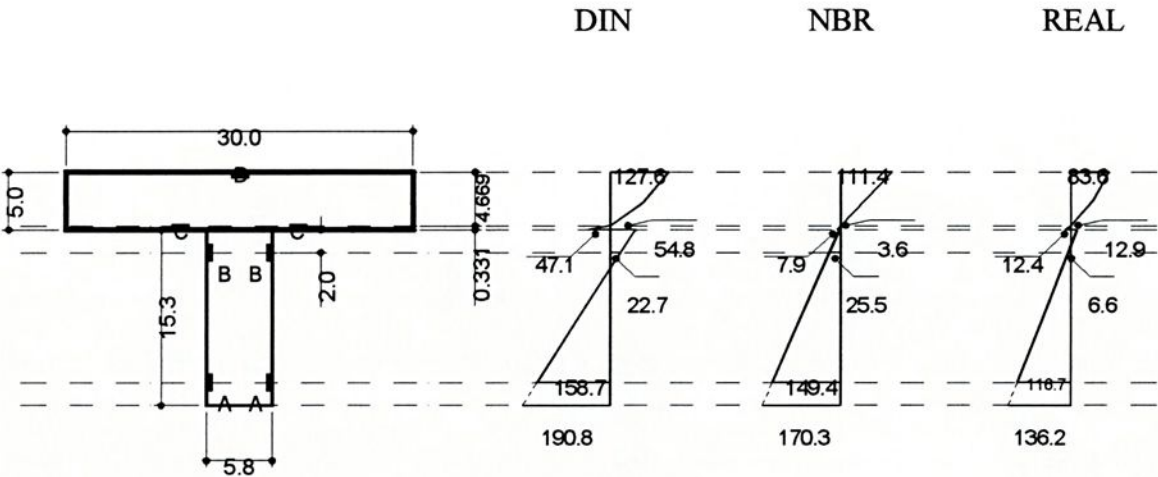


Figura 04– Comparação das tensões da viga mista 2 de eucalípto-concreto

6.3 Viga de Cupiúba

Os resultados das tensões medidas nos ensaios para a viga mista 1 de Cupiúba-concreto, calculados pela norma DIN 1052/73, utilizando os módulos de deslizamentos de ensaios e também calculados pela norma brasileira NBR 7190/97, são apresentados na tabela 5. A figura 05 apresenta os gráficos das tensões da viga mista 1, para um carregamento de 3000 daN.

Tabela 5- Tensões normais da Viga de Cupiúba 1

Carga 2P (daN)	Ponto A (daN/cm ²)			Ponto B (daN/cm ²)			Ponto C (daN/cm ²)			Ponto D (daN/cm ²)		
	DIN	NBR	Real	DIN	NBR	Real	DIN	NBR	Real	DIN	NBR	Real
	1052	7190		1052	7190		1052	7190		1052	7190	
1000	50,5	48,5	42,8	-8,9	11,2	5,5	46,1	19,6	17,4	-69,3	-55,8	-47,5
2000	101,0	97,0	88,0	-17,7	22,3	9,8	92,2	39,2	27,0	-138,6	-105,7	-97,8
3000	151,5	145,5	129,4	-26,6	33,5	14,3	138,3	58,8	34,5	-208,0	-158,6	-149,4
4000	202,1	194,0	173,0	-35,5	44,7	16,6	184,3	78,5	42,3	-277,2	-211,5	-197,0

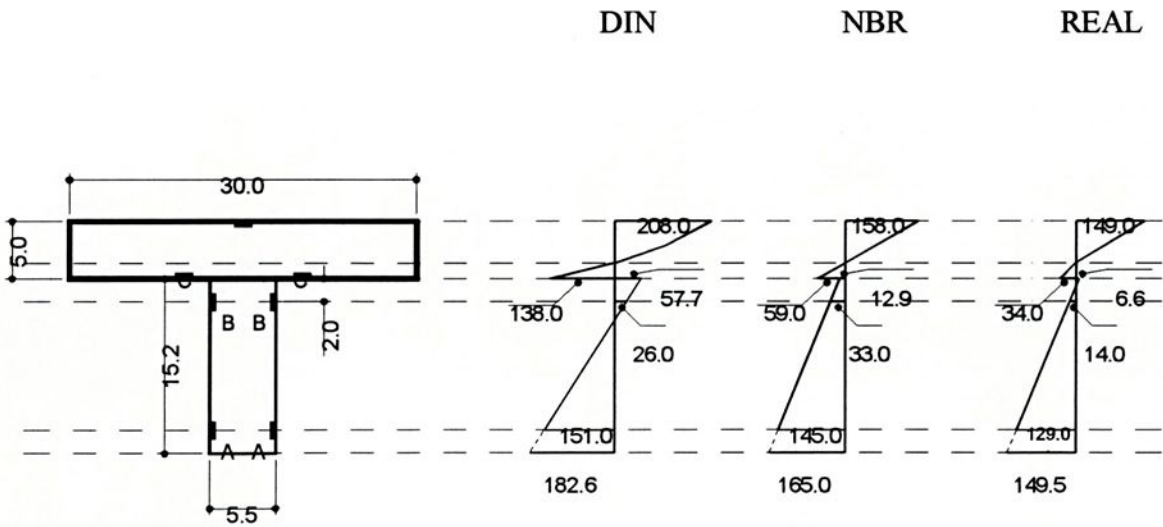


Figura 05– Comparação das tensões da viga mista 1 de cupiuba-concreto

6.4 Flechas das vigas mistas

Os resultados dos deslocamentos no meio do vão para a viga mista 1 de pinus-concreto, obtidos através de ensaios e calculados pela normas DIN e NBR, são apresentados na tabela 6.

Tabela 6 – Deslocamentos no meio do vão

DESLOCAMENTOS VERTICAIS - ($X=L / 2$) - mm			
Carga 2P (daN)	Def. (L/2) mm	Deformação ($x=L/2$) - DIN1052/73	Deformação ($x=L/2$) - NBR 7190/97
0	0,00	0,00	0,00
500	0,81	1,03	1,48
1000	1,83	2,07	2,96
1500	2,88	3,10	4,43
2000	3,95	4,14	5,91
2500	4,98	5,17	7,39
3000	6,05	6,21	8,87
3500	7,15	7,24	10,34
4000	8,33	8,27	11,82
4500	9,57	9,31	13,30
5000	10,85	10,34	14,78
5500	12,19	11,38	16,26
6000	14,05	12,41	17,73

flecha pela NBR usei $k_{mod}=0,56$

Os resultados dos deslocamentos no meio do vão para a viga mista 2 de pinus-concreto, obtidos através de ensaios e calculados pela normas DIN e NBR, são apresentados na tabela 7.

Tabela 7 – Deslocamentos no meio do vão

DESLOCAMENTOS VERTICAIS - ($X=L/2$) - mm			
Carga 2P (daN)	Def. (L/2) mm	Deformação (x=L/2) - DIN1052/73	Deformação (x=L/2) - NBR 7190/97
0	0,00	0,00	0,00
500	1,00	1,10	1,60
1000	2,10	2,20	3,30
1500	3,10	3,30	5,00
2000	4,00	4,50	6,60
2500	5,00	5,60	8,20
3000	6,00	6,70	9,90
3500	6,90	7,80	11,50
4000			

flecha pela NBR usei $k_{mod}=0,56$

Os resultados dos deslocamentos no meio do vão para a viga mista 1 de eucalipto-concreto, obtidos através de ensaios e calculados pela normas DIN e NBR, são apresentados na tabela 8.

Tabela 8 – Deslocamentos no meio do vão

DESLOCAMENTOS VERTICAIS - ($X=L/2$) - mm			
Carga 2P daN	Def. (L/2) mm/100-Exp	Deformação ($x=L/2$) - DIN1052/73	Deformação ($x=L/2$) - NBR 7190/97
0	0,00	0,00	0,00
500	0,64	0,62	0,57
1000	1,24	1,25	1,15
1500	1,86	1,87	1,72
2000	2,44	2,49	2,30
2500	3,01	3,12	2,87
3000	3,58	3,74	3,45
3500	4,16	4,36	4,02
4000	4,80	4,99	4,60
4500	5,74	5,61	5,17
5000	6,37	6,23	5,74
5500	7,19	6,85	6,32
6000	8,00	7,48	6,89

flecha pela NBR usei $k_{mod}=0,56$

Os resultados dos deslocamentos no meio do vão para a viga mista 2 de eucalípto-concreto, obtidos através de ensaios e calculados pela normas DIN e NBR, são apresentados na tabela 9.

Tabela 9 – Deslocamentos no meio do vão

DESLOCAMENTOS VERTICAIS - ($X=L / 2$) - mm/100			
Carga 2P daN	Def. (L/2) mm	Deformação ($x=L/2$) - DIN1052/73	Deformação ($x=L/2$) - NBR 7190/97
0	0,00	0,00	0,00
500	0,93	0,59	0,72
1000	1,50	1,18	1,43
1500	2,11	1,76	2,15
2000	2,72	2,35	2,87
2500	3,27	2,94	3,58
3000	3,97	3,53	4,30
3500	4,31	4,11	5,01
4000	5,11	4,70	5,73
4500	5,70	5,29	6,45
5000	6,32	5,88	7,16
5500	6,91	6,46	7,88
6000	8,15	7,05	8,60

verificar a flecha pela NBR usei $k_{mod}=0$



Os resultados dos deslocamentos no meio do vão para a viga mista 1 de cupiúba-concreto, obtidos através de ensaios e calculados pela normas DIN e NBR, são apresentados na tabela 10.

Tabela 10 – Deslocamentos no meio do vão

DESLOCAMENTOS VERTICAIS - ($X=L/2$) - mm			
Carga 2P (daN)	Def. (L/2) mm	Deformação ($x=L/2$) - DIN1052/73	Deformação ($x=L/2$) - NBR 7190/97
0	0,00	0,00	0,00
500	1,09	1,08	1,15
1000	2,24	2,15	2,29
1500	3,34	3,23	3,44
2000	4,46	4,30	4,59
2500	5,90	5,38	5,73
3000	6,71	6,45	6,88
3500	7,85	7,53	8,03
4000	9,28	8,61	9,17

Capítulo 7

Conclusões Finais

No capítulo 2, o estudo dos parafusos auto-atarrachantes colocados inclinados em relação às fibras da madeira, de forma alternada formando um X, demonstraram grande eficiência e módulos de deslizamento alto. A obtenção do módulo de deslizamento K, através da secante ao ponto de 10% e 50%, da força de ruptura da ligação e suas respectivas deformações, pode ser utilizada para ligação com este tipo conector para a configuração empregada.

A capacidade de carga encontrada para os parafusos de diâmetro de 3/8", foi de 78% para os corpos de prova de madeira-concreto, utilizando a madeira Pinus, e de 74% para o de Eucalipto, em relação aos resultados dos corpos de prova, utilizando a mesma madeira e parafusos com diâmetro de 1/2". Este valor é correspondente a área projetada do parafuso, de diâmetro de 3/8", ao embutimento, ser menor em 25% à área do parafuso de 1/2 ". Quanto ao módulo de deslizamento, a eficiência dos parafusos de diâmetro de 3/8", foi de 86% e 89%, para a madeira Pinus e Eucalipto respectivamente, em relação aos parafusos de 1/2". Dobrando o número de parafusos, nos corpos de prova de 4 para 8, obteve-se o dobro de capacidade de carga na ruptura, e o módulo de deslizamento melhorou em média 10%.

O módulo de deslizamento encontrado nos corpos de prova de madeira-concreto, utilizando a madeira Cupiúba e parafusos de 1/2", superou em 88% em relação aos resultados encontrados para os corpos de prova de Pinus-concreto e Eucalipto-concreto.

No capítulo 3, estudaram-se vários tipos de conectores para apenas uma espécie de madeira, a Cupiúba. A redução feita nas dimensões do corpo de prova não alterou os resultados, podendo ser adotado como padrão para o estudo com conectores tipo pinos metálicos de diâmetro até 1/2". A posição dos parafusos na madeira, tem influência significativa, tanto na resistência final, como no deslocamento entre as peças, alterando o módulo de deslizamento da ligação. Observou-se que, tanto os pregos, parafusos ou pinos de ferro de construção, quando estes eram dispostos perpendicular às fibras da madeira, apresentaram resultados maiores de ruptura. Por outro lado, as grandes deformações iniciais e ao



longo do carregamento dos corpos de prova, demonstraram ser esta ligação muito flexível. Os resultados dos ensaios com conectores dispostos de maneira alternados inclinados formando um X, apresentaram maior módulo de deslizamento, demonstrando ser uma ligação mais rígida. Isto acontece, devido o parafuso trabalhar não só ao embutimento na madeira, como também à tração e à compressão. A utilização deste tipo de ligação em vigas mistas de madeira-concreto, parece ser a mais apropriada.

No estudo com pinos de ferro de construção, fez-se uma comparação dos mesmos quando colocados inclinados em relação as fibras e em forma de X. Pode-se concluir que, em ambos os casos as deformações foram muito pequenas, demonstrando a boa rigidez da ligação. Os corpos de prova com pinos dispostos inclinados, obtiveram uma capacidade de carga 17% em relação aos dispostos em forma de X, mas seu módulo de deslizamento caiu quase pela metade. Se ambos possuem deslizamento semelhantes e sua carga é maior, o erro está em calcular o valor do módulo de deslizamento K, através da secante ao ponto de 10% e 50% da força de ruptura da ligação e suas respectivas deformações. Com 50% do valor da carga, esta sendo mais alta, a deformação correspondente torna-se muito grande, fazendo com que o módulo de deslizamento caia significativamente. Talvez, um valor mais coerente para o cálculo do módulo de deslizamento K, fosse tomar a secante ao ponto de 10% e 40% da força de ruptura da ligação e as suas respectivas deformações.

As vigas mistas estudadas de pinus-concreto e eucalipto-concreto, apresentaram excelente comportamento, aumentando a sua rigidez em 6,2 vezes para as de pinus-concreto e em 3,3 vezes para as de eucalipto-concreto.

Os resultados apresentados nas tabelas 1 e 2, do capítulo 6, para as vigas mistas de pinus, apresentaram tensões nas vigas inferiores comparadas as calculadas pela DIN 1052/73 e NBR 7190/97. Nas tabelas 3 e 4, do capítulo 6, para as vigas mistas de eucalipto, as tensões encontradas no ensaio e as calculadas pelas normas, estão bem próximas, sendo a norma DIN um pouco mais conservadora.

Mediante análise das tabelas 6 e 7, do capítulo 6, para as vigas mistas de pinus, verifica-se que o modelo, segundo a DIN 1052/73, é o que apresenta uma maior rigidez a flexão, possuindo menores deslocamentos verticais. Esses deslocamentos verticais medidos experimentalmente são semelhantes para um



mesmo carregamento , indicando uma mesma rigidez. A NBR 7190/97 apresenta valores com menor rigidez.

Nas tabelas 8 e 9, do capítulo 6, para as vigas mistas de eucalipto, observou-se uma aproximação muito grande da rigidez obtida experimentalmente com as calculadas pela norma DIN e NBR. Deve-se levar em consideração que foi utilizado um $K_{mod} = 0,56$, no cálculo feito pela NBR 7190/97.

Os valores das tensões encontrados nos ensaios para a viga mista de cupiúba-concreto estão bem próximo ao calculado pela NBR 7190/97. Os valores da rigidez obtidos através de ensaios e calculados pelas duas normas são compatíveis. Cabe salientar que, nesta viga, foram utilizados a metade de conectores que as vigas de pinus-concreto e eucalipto-concreto.

Pode-se afirmar que os valores das tensões, obtidos pela norma brasileira NBR7190/97, estão mais próximos dos valores experimentais do que os valores obtidos com base na norma alemã DIN1052/73. Os valores da rigidez das vigas obtidos pela Norma Alemã DIN1052/73, estão mais próximos do real, pois levam em conta os pequenos deslizamentos entre os dois materiais componentes da viga em estudo, formada por uma ligação flexível, dando à viga uma rigidez mais realista do que aquela encontrada com base na Norma Brasileira NBR7190/97.

Um ajuste na norma NBR 7190/97 faz-se necessário, onde deverá levar em consideração no seu cálculo para as vigas mistas de madeira-concreto, o módulo de deslizamento da ligação.



Referências Bibliográficas

- ALMEIDA, P.A.O, Estruturas de madeira de Grande Porte, São Paulo, 1990. 277p. Tese. Escola Politécnica de São Paulo – USP.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1997), *NBR 7190* - Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1982), *NBR 6118* - Projeto e execução de obras de concreto armado. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1994), *NBR 5739*: Concreto Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos – Método de ensaio. Rio de Janeiro.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION. BS-5400, part 5: Steel, concrete and composite bridges: code of practice for design of composite bridges. London, 1979
- CECCOTTI, A. (1995). Timber-concrete composite structures. In: *TIMBER ENGINEERING -STEP1*, Almere Centrum Hout, 1995, BLASS, H. J., AUNE, P., CHOO, B. S. et al., Almere Centrum Hout, 1995, p.1-12.
- CAPRETTI, S.; CECCOTTI, A. (1996). Service behaviour of timber-concrete composite beams: a 5-years monitoring and testing experience. In: *INTERNACIONAL WOOD ENGINEERING CONFERENCE*, New Orleans, 1996, Proceedings. New Orleans. v.3, p.443-449.
- DIN (DEUTSCHE INSTITUTE FÜR NORMUNG), Construcciones de Madera: Cálculo y Ejecución (DIN 1052), Ed. Balzola, Bilbao, 1973.
- EUROPEAN PRESTANDARD (1993), *EUROCODE 5* - Design of timber structures - part 1-1: General rules and rules for buildings. Brussels.
- EUROCODE 4 – ENV 1994-1- Design of composite steel and concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings. Bruxelasa, 1992
- GIRHARMMAR, U. A.; GOPU, V. K. A. (1993). Composite beam-columns with interlayer slip-exact analysis. *Journal of Structural Engineering*. ASCE. n.4, v.119, p.1265-1282.
- HA, K. H., Stiffness Matrix for Exact Solution of Sandwich Beam and Frame Systems, *Journal of Structural Engineering*, vol. 119, nº 4, abril, 1993, 1150-1167.
- HELLMEISTER, J.C., Evolução do Estudo de Vigas compostas no Laboratório de Estruturas de Madeira, *Anais do I Encontro de Madeiras e de Estruturas de Madeira*, vol. I., São Carlos, 1982.



- HOYLE, R. J., WOESTE, F. E., Wood Technology in the Design of Structures, 5ª Ed., Iowa State University Press/AMES, Iowa, 1989.
- MALITE, M. Análise do comportamento estrutural de vigas mistas aço-concreto constituídas por perfis de chapa dobrada. São Carlos, 1990. 253p. Tese (Tese em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos-USP.
- McCUTCHEON, W. J., Stiffness of Framing Members with Partial Composite Action, Journal of Structural Engineering, vol. 112, nº 7, julho, 1986, 1623-1637.
- MONARI, H. J., LAHR, F. A. R., Proposta para Metodologia de Ensaio de Vigas de Madeira de Seção Composta Interligadas por Parafusos e Tarugos Metálicos, Anais do II Encontro de Madeiras e de Estruturas de Madeira, vol. IV., São Carlos, 1986.
- OLIVEIRA, S. V., Vigas Compostas de Madeira Laminada Colada e Concreto Solidarizadas por Conectores Metálicos. Belo Horizonte, 1999. 162p. Dissertação – Universidade Federal de Minas Gerais.
- PINCUS, G., Bonded Wood-Concrete T-Beams, Journal of the Structural Division, vol.95, nº ST10, outubro, 1969, 2265-2279.
- PINCUS, G., Bshavior of Wood-Concrete T-Beams Composite Beams, Journal of the Structural Division, vol.96, nº ST10, outubro, 1970, 2009-2019.
- RUPERT, J. B., CALIL JR., Estudo das Vigas de Seção Composta para Aplicação na Construção de Pontes de Madeira, Anais do II Encontro de Madeiras e de Estruturas de madeira, vol.VII., São Carlos, 1986.
- SORIANO, J.; DINTEN, C. M.; TACITANO, M.;MASCIA, N. T. Análise teórico-experimental de uma viga de seção "T" em concreto-madeira. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 6, 1998, Florianópolis. Anais... Florianópolis: UFSC, 1998, v.4, p.283-294.
- SORIANO, J.; MASCIA, N. T. (1999). Estruturas mistas em concreto e madeira em pontes. *Téchne*, n.42, p.48-50, set/out..
- STEVANOVIC, B. (1996). Elastically coupled timber-concrete beams. In: INTERNACIONAL WOOD ENGINEERING CONFERENCE, New Orleans, 1996, Proceedings. New Orleans.v.3, p.425-430.
- TACITANO, M., Análise de Vigas de Seção T em Madeira-Concreto com Ligação Semi-Rígida. Campinas, 2000. 191p. Dissertação – Universidade estadual de Campinas – UNICAMP.



- TAKAC, S. Experimental research of wood-concrete composite structures joined by bulldog dowels. International Wood Engeneering Conference, pap. 5001, vol. 3, p. 299-303, New Orleans, Louisiana, USA, 1996.
- TARANTINO, ^a M., DEZI, L., Creep Effects in Composite Beams with Flexible Shear Connectors, Journal of Structural Engineering, Vol 118, n° 8, agosto, 1992, 2063-2081.
- WHEAT, D. L., CALIXTO, J. M., Nonlinear analysis of Two-Layered Wood Members with Interlayer Slip, Journal of Structural Division, vol. 120, n° 6, junho, 1994, 1909-1929.
- YTTRUP, P. J.; NOLAN, G. (1999), Performance of Timber Beam Bridges in Tasmania, Australia. <http://oak.arch.utas.edu.au> (19/03/1999 19:59).
- ZAHN J. J., Design Equations for Multiple-Fastener Connections, Journal of Structural Division, vol. 117, n° 11, novembro, 1991, 3477-3486.
- ZAREMBA, C. J., Strength of Steel Frames Using Partial Composite Girders, Journal of Structural Division, vol. 114, n° 8, agosto, 1988, 1741-1761.

ANEXO A

Vigas mistas 1 e 2 de pinus-concreto



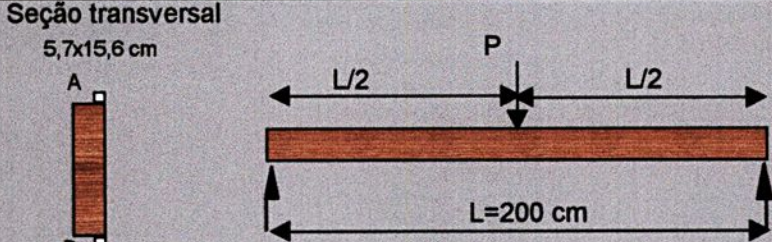
Ensaio de Flexão Viga de Pinus 1 - 5,7x15,6x200 cm - 19/04/2000					
Constante do anel = 4,778 daN					
Div.Carga	Carga(daN)	Def.Lado A	Def. Lado B	Def.Média	E (daN/cm ²)
0	0	0	0	0	0
15	71,67	101	106	103,5	64010,33168
30	143,34	197	202	199,5	66416,73513
45	215,01	293	298	295,5	67259,5871
60	286,68	391	396	393,5	67345,05036
75	358,35	488	488	488	67879,8087
90	430,02	582	580	581	68417,2392
105	501,69	677	674	675,5	68653,56818
120	573,36	774	769	771,5	68698,06174
135	645,03	872	864	868	68693,11516
150	716,7	973	962	967,5	68476,16877
			E =	68587,4	daN/cm ²
Esquema estrutural da Viga					
Seção transversal 5,7x15,6 cm 					

Tabela 1 – Viga 1 de Pinus

Determinação do Módulo de Elasticidade do Concreto

Moldagem : 19/04/2000

Ensaio: 19/07/2000

Máquina Universal de Ensaio - W.P.M.

Diâmetro = 15 cm

L=30,0 cm

N ° do CP : VIGA - 1/3

Área: 176,7 cm²

CARGA daN	TENSÃO (MPa)	LEITURAS x E-3 (mm)			DEF. VERT	
		1	2	3	Lm	
0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	
2000,0	1,13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4000,0	2,26	10,0	10,0	10,0	10,0	5,0 E-5
6000,0	3,40	20,0	20,0	19,0	19,7	9,85 E-5
8000,0	4,53	30,0	30,0	30,0	30,0	15,0 E-5
10000,0	5,66	40,0	40,0	40,0	40,0	20,0 E-5
12000,0	6,79	51,0	51,0	51,0	51,0	25,5 E-5
14000,0	7,92	61,0	60,0	60,0	60,3	30,2 E-5
16000,0	9,05	71,0	71,0	71,0	71,0	35,5 E-5
18000	10,19	80,0	81,0	82,0	81,0	40,5 E-5
20000	11,32	91,0	92,0	92,0	91,7	45.85 E-5

Módulo Elasticidade = 45000 Mpa

Tensão de Ruptura = 43.8 MPa

Carga de Ruptura = 775 KN

Tabela 2 – Ensaio do concreto da viga mista 1 de pinus-concreto



Ensaio Viga 1 Mista - Pinus e Concreto									
Moldagem 19/04/2000					Ensaio :19/07/2000				
					Constante da Célula de Carga : 4,778 daN				
Div. de Carga	Carga (daN)	Def. (l/2) mm/100	Ex1	Ex2	Ex3	Ex4	Ex5	Ex6	Ex7
0	0,00	0	52705	52973	54344	52154	53073	52585	52190
30	143,34	33	52790	53055	54368	52180	53110	52621	52152
60	286,68	67	52882	53133	54400	52200	53152	52666	52104
90	430,02	100	52971	53209	54416	52223	53192	52700	52057
120	573,36	134	53055	53285	54446	52239	53241	52746	52011
150	716,70	167	53135	53372	54474	52272	53289	52806	51962
180	860,04	200	53222	53450	54489	52281	53353	52882	51907
210	1003,38	234	53300	53527	54510	52299	53387	52832	51850
240	1146,72	269	53397	53607	54538	52322	53381	52784	51771
270	1290,06	304	53488	53691	54571	52338	53369	52755	51691
300	1433,40	338	53568	53765	54574	52357	53371	52735	51616
330	1576,74	374	53661	53854	54593	52370	53359	52717	51533
360	1720,08	410	53752	53936	54616	53384	53362	52712	51466
	Residual	15	52757	53031	54425	52178	53119	52606	52143

Seção transversal

Esquema estrutural da Viga

Tabela 3 – Ensaio da viga mista 1 com carga concentrada

Ensaio de Ruptura Viga 1 Mista - Pinus e Concreto

Moldagem : 19/04/2000 Ensaio : 19/07/2000

Constante da Célula de Carga : 10 daN

Div. de Carga	Carga 2P	Def. (l/2) mm/100	Ex1	Ex2	Ex3	Ex4	Ex5	Ex6	Ex7
0	0,00	0	53873	55264	53961	53337	54250	53735	53334
25	500,00	81	53987	55372	53940	53346	54249	53727	53238
50	1000,00	183	54217	55608	53999	53429	54297	53776	53254
75	1500,00	288	54557	55956	54162	53606	54462	53922	53270
100	2000,00	395	54892	56261	54365	53778	54598	54054	53270
125	2500,00	498	55165	56534	54458	53872	54663	54099	53220
150	3000,00	605	55359	56724	54430	53855	54619	54054	53090
175	3500,00	715	55525	56878	54468	53914	54646	54069	53038
200	4000,00	833	55777	57130	54530	53946	54652	54068	52943
225	4500,00	957	55975	57527	54718	54154	54826	54240	53031
250	5000,00	1085	56466	57774	54827	54264	54918	54329	53018
275	5500,00	1219	56664	58058	54843	54320	54934	54345	52963
300	6000,00	1405	56921	58375	55700	55167	55760	55156	53532

Carga de Ruptura
P=7940 daN

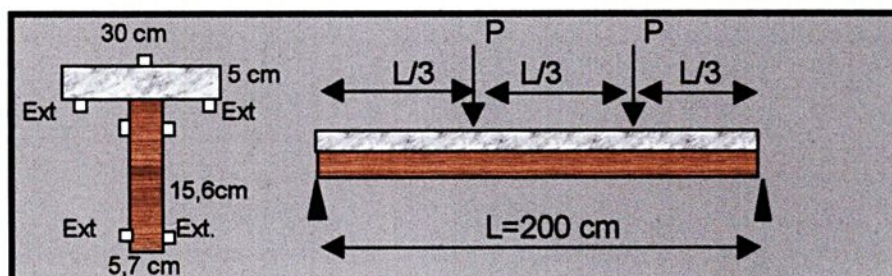


Tabela 4 – Ensaio da viga mista 1 com carregamento nos terços de vão

VIGA MISTA 1 - PINUS / CONCRETO - CÁLCULO DAS TENSOES E DEFORMAÇÕES									
ENSAIO - 26/07/2001									
Ex1	Ex2	MÉDIA	Ex3	Ex4	MÉDIA	Ex5	Ex6	MÉDIA	Ex7
53873	55264	54568,50	53961	53337	53649,00	54250	53735	53992,50	53334
53987	55372	54679,50	53940	53346	53643,00	54249	53727	53988,00	53238
54217	55608	54912,50	53999	53429	53714,00	54297	53776	54036,50	53254
54557	55956	55256,50	54162	53606	53884,00	54462	53922	54192,00	53270
54892	56261	55576,50	54365	53778	54071,50	54598	54054	54326,00	53270
55165	56534	55849,50	54458	53872	54165,00	54663	54099	54381,00	53220
55359	56724	56041,50	54430	53855	54142,50	54619	54054	54336,50	53090
55525	56878	56201,50	54468	53914	54191,00	54646	54069	54357,50	53038
55777	57130	56453,50	54530	53946	54238,00	54652	54068	54360,00	52943
55975	57527	56751,00	54718	54154	54436,00	54826	54240	54533,00	53031
56466	57774	57120,00	54827	54264	54545,50	54918	54329	54623,50	53018
56664	58058	57361,00	54843	54320	54581,50	54934	54345	54639,50	52963
56921	58375	57648,00	55100	54267	54683,50	55060	54356	54708,00	52832

CARGA 2P	Def. A	Def. B	Def. C	Def. D	Tensão A	Tensão B	Tensão C	Tensão D	Def.L/2
daN					daN/cm2	daN/cm2	daN/cm2	daN/cm2	mm/100
500,00	0,00011100	-0,00000600	-0,00000450	-0,00009600	7,61	-0,41	-2,03	-43,20	81
1000,00	0,00034400	0,00006500	0,00004400	-0,00008000	23,60	4,46	19,80	-36,00	183
1500,00	0,00068800	0,00023500	0,00019950	-0,00006400	47,20	16,12	89,78	-28,80	288
2000,00	0,00100800	0,00042250	0,00033350	-0,00006400	69,15	28,98	150,08	-28,80	395
2500,00	0,00128100	0,00051600	0,00038850	-0,00011400	87,88	35,40	174,83	-51,30	498
3000,00	0,00147300	0,00049350	0,00034400	-0,00024400	101,05	33,85	154,80	-109,80	605
3500,00	0,00163300	0,00054200	0,00036500	-0,00029600	112,02	37,18	164,25	-133,20	715
4000,00	0,00188500	0,00058900	0,00036750	-0,00039100	129,31	40,41	165,38	-175,95	833
4500,00	0,00218250	0,00078700	0,00054050	-0,00030300	149,72	53,99	243,23	-136,35	957
5000,00	0,00255150	0,00089650	0,00063100	-0,00031600	175,03	61,50	283,95	-142,20	1085
5500,00	0,00279250	0,00093250	0,00064700	-0,00037100	191,57	63,97	291,15	-166,95	1219
6000,00	0,00307950	0,00103450	0,00071550	-0,00050200	211,25	70,97	321,98	-225,90	1405

Tabela 5 – Cálculo das tensões da viga mista 1

Cálculo Teórico das Tensões e deformações - Norma DIN 1052/73									
VIGA 1 de Pinus									
Div. de Carga	Carga (2P) daN	Mmax daN.cm	Tensão D daN/cm2	Tensão C daN/cm2	Tensão B daN/cm2	Tensão A daN/cm2	Deformação cm	T.Cis.max daN/cm2	Tensão CDM daN/cm2
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00	0
25	500,00	16665,00	-33,94	20,68	1,53	24,18	0,103	2,63	4,116255
50	1000,00	33330,00	-67,88	41,37	3,06	48,37	0,207	5,27	8,23251
75	1500,00	49995,00	-101,82	62,05	4,59	72,55	0,310	7,90	12,348765
100	2000,00	66660,00	-135,76	82,73	6,13	96,74	0,414	10,53	16,46502
125	2500,00	83325,00	-169,70	103,41	7,66	120,92	0,517	13,16	20,581275
150	3000,00	99990,00	-203,64	124,10	9,19	145,11	0,621	15,80	24,69753
175	3500,00	116655,00	-237,58	144,78	10,72	169,29	0,724	18,43	28,813785
200	4000,00	133320,00	-271,52	165,46	12,25	193,47	0,827	21,06	32,93004
225	4500,00	149985,00	-305,46	186,15	13,78	217,66	0,931	23,69	37,046295
250	5000,00	166650,00	-339,40	206,83	15,32	241,84	1,034	26,33	41,16255
275	5500,00	183315,00	-373,34	227,51	16,85	266,03	1,138	28,96	45,278805
300	6000,00	199980,00	-407,28	248,20	18,38	290,21	1,241	31,59	49,39506

Cálculo Teórico das Tensões e deformações - Norma NBR 7190/97								
Div. de Carga	Carga (2P) daN	Mmax daN.cm	Tensão D daN/cm2	Tensão C daN/cm2	Tensão B daN/cm2	Tensão A daN/cm2	Deformação cm	T.Cis.max daN/cm2
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00
25	500,00	16665,00	-30,86	15,16	3,88	25,33	0,148	2,19
50	1000,00	33330,00	-61,71	30,31	7,77	50,66	0,296	4,38
75	1500,00	49995,00	-92,57	45,47	11,65	75,99	0,443	6,57
100	2000,00	66660,00	-123,43	60,63	15,53	101,32	0,591	8,76
125	2500,00	83325,00	-154,28	75,78	19,42	126,65	0,739	10,95
150	3000,00	99990,00	-185,14	90,94	23,30	151,98	0,887	13,14
175	3500,00	116655,00	-216,00	106,10	27,18	177,32	1,034	15,33
200	4000,00	133320,00	-246,86	121,25	31,07	202,65	1,182	17,52
225	4500,00	149985,00	-277,71	136,41	34,95	227,98	1,330	19,71
250	5000,00	166650,00	-308,57	151,57	38,83	253,31	1,478	21,90
275	5500,00	183315,00	-339,43	166,72	42,72	278,64	1,626	24,08
300	6000,00	199980,00	-370,28	181,88	46,60	303,97	1,773	26,27

Tabela 6 – Cálculo das tensões e flechas no meio do vão, pelas normas DIN e NBR da viga mista 1

Ensaio de Flexão Viga de Pinus II - 5,7x15,6x200 cm - 27/07/2000					
Constante do anel = 4,778 daN					
Div.Carga	Carga(daN)	Def.Lado A	Def. Lado B	Def.Média	E (daN/cm ²)
0	0	0	0	0	0
15	71,67	120	124	122	56562,58583
30	143,34	230	240	235	58728,81252
45	215,01	343	352	347,5	59573,8314
60	286,68	460	470	465	59360,30513
75	358,35	578	589	583,5	59131,40935
90	430,02	691	700	695,5	59531,00334
105	501,69	800	812	806	59931,07729
120	573,36	914	928	921	59940,37325
135	645,03	1029	1044	1036,5	59918,68716
E =				59690,51008 daN/cm ²	

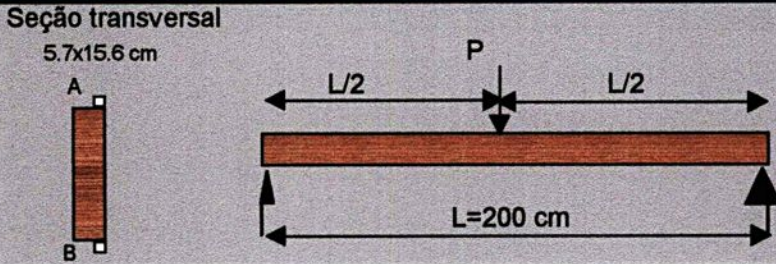
Esquema estrutural da Viga	
Seção transversal 5.7x15.6 cm 	

Tabela 7 – Viga 2 de Pinus

Determinação do Módulo de Elasticidade do Concreto						
Moldagem : 27/7/2000						
Ensaio: 11/10/2000						
Máquina Universal de Ensaios - W.P.M.				Diâmetro=15 cm	L=30,0 cm	
N ° do CP : VIGA - 3/3				Área: 176,7 cm ²		
CARGA	TENSAO	LEITURAS			Lm	DEF.VERT
LIDA	(MPa)	1	2	3		
0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	
2000,0	1,13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4000,0	2,26	7,0	6,0	5,0	6,0	3,0 E-5
6000,0	3,40	17,0	16,0	15,0	16,0	8,0 E-5
8000,0	4,53	26,0	25,0	25,0	25,3	12,65 E-5
10000,0	5,66	36,0	36,0	36,0	36,0	18,0 E-5
12000,0	6,79	47,0	47,0	47,0	47,0	23,5 E-5
14000,0	7,92	57,0	58,0	58,0	57,7	28,85 E-5
16000,0	9,05	68,0	68,0	69,0	68,3	34,15 E-5
18000	10,19	79,0	79,0	79,0	79,0	39,5 E-5
20000	11,32	91,0	91,0	91,0	91,0	45,5 E-5
Módulo Elasticidade = 44500 MPa Tensão de Ruptura = 43,01MPa Carga de Ruptura = 760 KN						

Tabela 8 – Ensaio do concreto da viga mista 2



Ensaio Viga 2 Mista - Pinus e Concreto

Moldagem : 27/07/2000 Ensaio : 10/10/2000
Constante da Célula de Carga : 4,778 daN

Div. de Carga	Carga (daN)	Def. (l/2) mm/100	Ex1	Ex2	Ex3	Ex4	Ex5	Ex6	Ex7
0	0,00	0	50611	52617	51440	51047	50644	50697	50300
30	143,34	31	50713	52688	51463	51077	50673	50726	50279
60	286,68	68	50829	52749	51480	51099	50699	50775	50246
90	430,02	101	50936	52805	51499	51122	50730	50780	50207
120	573,36	134	51046	52873	51521	51150	50766	50805	50166
150	716,70	169	51154	52937	51547	51178	50795	50811	50116
180	860,04	203	51245	52999	51573	51208	50782	50803	50062
210	1003,38	236	51379	53067	51595	51246	50789	50799	50005
240	1146,72	272	51497	53130	51616	51279	50786	50792	49944
270	1290,06	307	51614	53195	51640	51310	50780	50789	49875
300	1433,40	340	51733	53241	51662	51344	50775	50774	49806
	Residual	8	50668	52623	51450	51077	50604	50660	50278

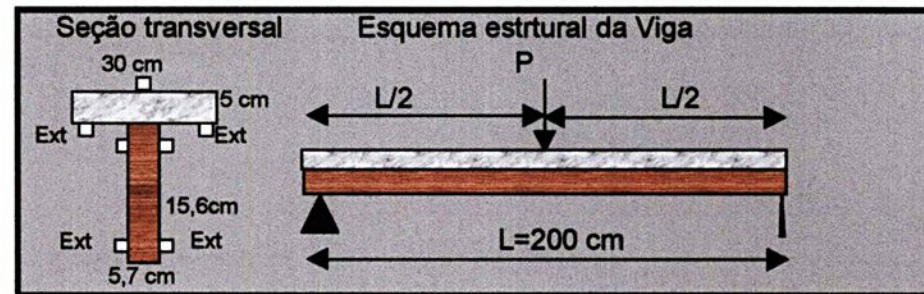


Tabela 9 – Ensaio da viga mista 2 com carga concentrada

Ensaio de Ruptura Viga 2 Mista - Pinus e Concreto

Moldagem : 27/07/2000 Ensaio : 11/10/2000

Constante da Célula de Carga : 10 daN

iv. de Carg	Carga 2P	Def. (l/2) mm/100	Ex1	Ex2	Ex3	Ex4	Ex5	Ex6	Ex7
0	0,00	0	50595	52482	51421	51036	50569	50619	50242
25	500,00	105	50824	52601	51447	51065	50572	50623	50184
50	1000,00	215	51100	52782	51483	51101	50585	50629	50125
75	1500,00	308	51344	52885	51518	51138	50589	50629	50059
100	2000,00	398	51590	53014	51560	51182	50601	50637	49986
125	2500,00	501	51875	53105	51600	51218	50602	50631	49907
150	3000,00	598	52149	53192	51645	51263	50608	50628	49840
175	3500,00	690	52419	53270	51688	51303	50618	50633	49780

Carga de Ruptura
P=3710 daN

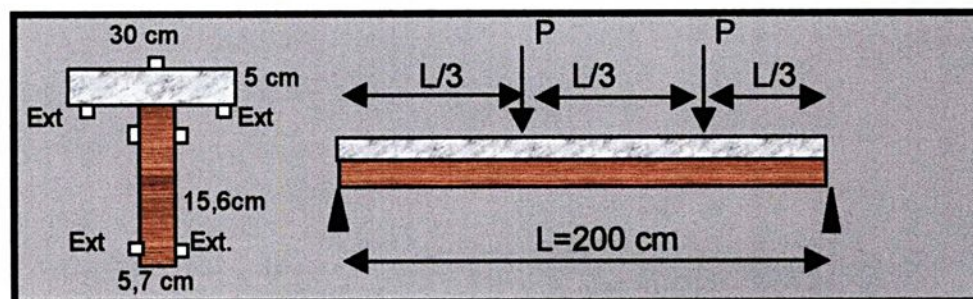


Tabela 10 – Ensaio da viga mista 2 com carregamento nos terços de vão

VIGA MISTA 2 - PINUS / CONCRETO - CÁLCULO DAS TENSÕES E DEFORMAÇÕES										
ENSAIO - 11/10/2000										
Carga daN	Ex1	Ex2	MÉDIA	Ex3	Ex4	MÉDIA	Ex5	Ex6	MÉDIA	Ex7
0,00	50595	52482	51538,50	51421	51036	51228,50	50569	50619	50594,00	50242
500,00	50824	52601	51712,50	51447	51065	51256,00	50572	50623	50597,50	50184
1000,00	51100	52782	51941,00	51483	51101	51292,00	50585	50629	50607,00	50125
1500,00	51344	52885	52114,50	51518	51138	51328,00	50589	50629	50609,00	50059
2000,00	51590	53014	52302,00	51560	51182	51371,00	50601	50637	50619,00	49986
2500,00	51875	53105	52490,00	51600	51218	51409,00	50602	50631	50616,50	49907
3000,00	52149	53192	52670,50	51645	51263	51454,00	50608	50628	50618,00	49840
3500,00	52419	53270	52844,50	51688	51303	51495,50	50618	50633	50625,50	49780

CARGA 2F daN	Def. A	Def. B	Def. C	Def. D	Tensão A	Tensão B	Tensão C	Tensão D	Def.L/2
					daN/cm2	daN/cm2	daN/cm2	daN/cm2	mm/100
500,00	0,00017400	0,00002750	0,00000350	-0,00005800	10,39	1,64	1,56	-25,81	81
1000,00	0,00040250	0,00006350	0,00001300	-0,00011700	24,03	3,79	5,79	-52,07	183
1500,00	0,00057600	0,00009950	0,00001500	-0,00018300	34,39	5,94	6,68	-81,44	288
2000,00	0,00076350	0,00014250	0,00002500	-0,00025600	45,58	8,51	11,13	-113,92	395
2500,00	0,00095150	0,00018050	0,00002250	-0,00033500	56,80	10,78	10,01	-149,08	498
3000,00	0,00113200	0,00022550	0,00002400	-0,00040200	67,58	13,46	10,68	-178,89	605
3500,00	0,00130600	0,00026700	0,00003150	-0,00046200	77,97	15,94	14,02	-205,59	715

Tabela 11 – Cálculo das tensões da viga mista 2

Cálculo Teórico das Tensões e deformações - Norma DIN 1052/73									
VIGA 2 de Pinus									
Div. de Carga	Carga 2P daN	Mmax daN.cm	Tensão D daN/cm2	Tensão C daN/cm2	Tensão B daN/cm2	Tensão A daN/cm2	Deformação cm	T.Cis.max daN/cm2	Tensão CDm daN/cm2
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00	0
25	500,00	16665,00	-35,94	22,81	1,94	23,38	0,112	2,60	6,5643435
50	1000,00	33330,00	-71,88	45,62	3,89	46,77	0,225	5,20	13,128687
75	1500,00	49995,00	-107,81	68,42	5,83	70,15	0,337	7,80	19,6930305
100	2000,00	66660,00	-143,75	91,23	7,77	93,54	0,450	10,40	26,257374
125	2500,00	83325,00	-179,69	114,04	9,72	116,92	0,562	13,00	32,8217175
150	3000,00	99990,00	-215,63	136,85	11,66	140,31	0,675	15,60	39,386061
175	3500,00	116655,00	-251,57	159,65	13,60	163,69	0,787	18,20	45,9504045
200	4000,00	133320,00	-287,50	182,46	15,55	187,07	0,900	20,80	52,514748
225	4500,00	149985,00	-323,44	205,27	17,49	210,46	1,012	23,40	59,0790915
250	5000,00	166650,00	-359,38	228,08	19,43	233,84	1,125	26,00	65,643435
275	5500,00	183315,00	-395,32	250,88	21,37	257,23	1,237	28,60	72,2077785
300	6000,00	199980,00	-431,26	273,69	23,32	280,61	1,350	31,20	78,772122

Cálculo Teórico das Tensões e deformações - Norma NBR 7190/97								
Div. de Carga	Carga 2p daN	Mmax daN.cm	Tensão D daN/cm2	Tensão C daN/cm2	Tensão B daN/cm2	Tensão A daN/cm2	Deformação cm	T.Cis.max daN/cm2
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00
25	500,00	16665,00	-33,10	17,69	5,10	20,91	0,165	2,14
50	1000,00	33330,00	-66,19	35,39	10,20	41,82	0,330	4,29
75	1500,00	49995,00	-99,29	53,08	15,30	62,73	0,495	6,43
100	2000,00	66660,00	-132,38	70,78	20,40	83,64	0,660	8,57
125	2500,00	83325,00	-165,48	88,47	25,50	104,55	0,825	10,72
150	3000,00	99990,00	-198,57	106,17	30,60	125,46	0,990	12,86
175	3500,00	116655,00	-231,67	123,86	35,70	146,37	1,155	15,00
200	4000,00	133320,00	-264,76	141,56	40,80	167,28	1,320	17,15
225	4500,00	149985,00	-297,86	159,25	45,90	188,19	1,485	19,29
250	5000,00	166650,00	-330,95	176,95	51,00	209,10	1,650	21,44
275	5500,00	183315,00	-364,05	194,64	56,10	230,01	1,814	23,58
300	6000,00	199980,00	-397,14	212,34	61,20	250,91	1,979	25,72

Tabela 12 - Cálculo das tensões e flecha no meio do vão, pelas normas DIN e NBR da viga mista 2

ANEXO B

Vigas mistas 1 e 2 de eucalipto e concreto



Ensaio de Flexão Viga de Eucalipto 1 - 5,8x15,3x200 cm - 01/03/2001					
Constante do anel = 4,778 Kgf					
Div. Carga	Carga(daN)	Def. Lado A	Def. Lado B	Def. Média	E (daN/cm ²)
0	0	0	0	0	0
30	143,34	86	91	88,5	155946,564
60	286,68	160	154	157	175812,369
90	430,02	229	223	226	183202,712
120	573,36	297	291	294	187772,394
150	716,7	366	359	362,5	190362,358
180	860,04	433	427	430	192575,874
210	1003,38	497	493	495	195169,488
240	1146,72	564	562	563	196110,422
270	1290,06	633	634	633,5	196071,726
				E = 194057,9735 daN/cm ²	

Esquema estrutural da Viga

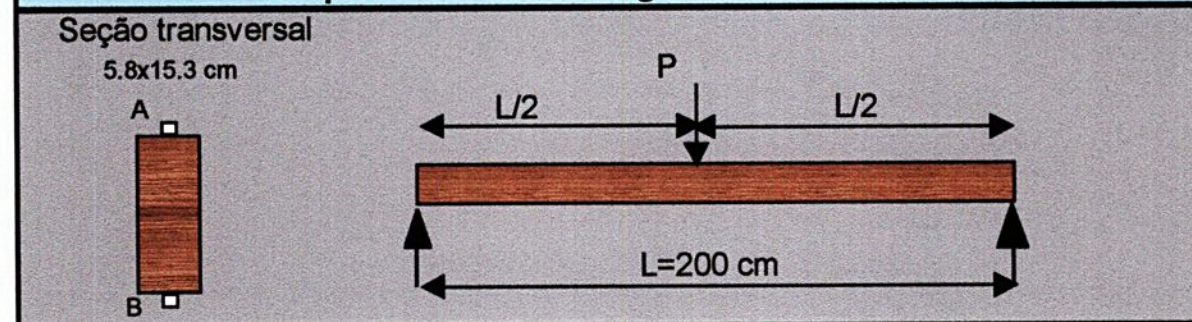


Tabela 1 – Viga 1 de Eucalipto

Determinação do Módulo de Elasticidade do Concreto							
Moldagem : 01/03/2001							
Ensaio: 29/03/2001							
Equipamento Utilizado : AMSLER			DIÂMETRO: 15,0 cm			L=30,0 cm	
N ° do CP : VIGA - 1/3			ÁREA: 177 cm ²				
CARGA		TENSAO	LEITURAS				DEF.VERT
LIDA	CORR.	(MPa)	1	2	3	Lm	micra
0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	
3,0	3,0	1,70	10,0	10,0	10,0	10,0	0,2
6,0	6,0	3,40	28,0	28,0	28,0	28,0	0,7
9,0	9,0	5,09	46,0	46,0	46,0	46,0	1,1
12,0	12,0	6,79	63,0	65,0	64,0	64,0	1,6
15,0	15,0	8,49	80,0	80,0	80,0	80,0	2,0
18,0	18,0	10,19	99,0	100,0	100,0	99,7	2,4
21,0	21,0	11,88	118,0	117,0	118,0	117,7	2,9
24,0	24,0	13,58	134,0	133,0	133,0	133,3	3,3

Módulo Elasticidade = 39,27GPa

Tensão de Ruptura = 30 MPa

Carga de Ruptura = 53000 daN

Tabela 2 – Ensaio do concreto da viga mista 1



Ensaio Viga Mista 1 - Eucalipto e Concreto

Moldagem : 01/03/2001 Ensaio : 15/05/2001

Constante da Célula de Carga : 4,778 daN

Div. de Carga	Carga (daN)	Def. (l/2) mm/100	Ex1	Ex2	Ex3	Ex4	Ex5	Ex6	Ex7
0	0,00	0	51486	52325	53109	52253	53272	52010	51999
50	238,90	35	51550	52380	53120	52253	53300	52045	51940
100	477,80	72	51608	52444	53127	52257	53335	52082	51872
150	716,70	109	51675	52499	53132	52263	53371	52116	51796
200	955,60	145	51739	52559	53136	52261	53409	52154	51733
250	1194,50	182	51801	52617	53142	52262	53474	52211	51651
300	1433,40	220	51852	52682	53147	52262	53654	52312	51570
350	1672,30	256	51942	52742	53152	52263	53776	53290	51478
400	1911,20	294	52009	52802	53156	52256	53868	53928	51387
450	2150,10	334	52082	52870	53158	52252	54048	54689	51308
500	2389,00	373	52153	52942	53156	52248	53788	55608	51224
	Residual	26	51495	52331	53087	52239	53424	53265	51909

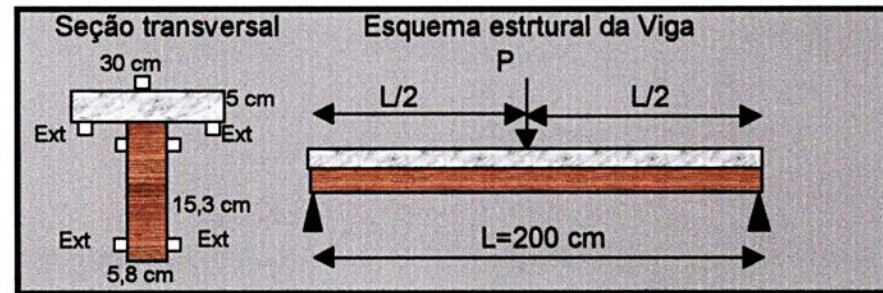


Tabela 3 – Ensaio da viga mista 1 com carga concentrada

Ensaio Viga Mista 1 - Eucalipto e Concreto - Ruptura

Moldagem : 01/03/2001 Ensaio : 15/05/2001

Constante da Célula de Carga : 10 daN

Div. de Carga	Carga (daN)	Def. (l/2) mm/100	Ex1	Ex2	Ex3	Ex4	Ex5	Ex6	Ex7
0	0	0	51503	52338	53083	52215	53388	53013	51914
50	500	64	51596	52445	53086	52220	53379	53000	51868
100	1000	124	51687	52536	53087	52213	53368	52977	51820
150	1500	186	51784	52633	53090	5211	53360	52961	51778
200	2000	244	51878	52721	53093	52209	53355	52950	51733
250	2500	301	51973	52812	53096	52206	53349	52943	51692
300	3000	358	52066	52900	53100	52208	53346	52930	51653
350	3500	416	52150	52989	53099	52207	53337	52904	51609
400	4000	480	52243	53080	53097	52200	53331	52876	51575
450	4500	574	52354	52187	53070	52175	53309	52807	51531
500	5000	637	52457	53238	53075	52174	53304	52798	51487
550	5500	719	52560	53370	53049	52151	53286	52742	51447
600	6000	800	52665	53468	53031	52137	53275	52706	51384
650	6500	848	52752	53545	53038	52138	53271	52701	51347
700	7000	911	52845	53638	53035	52130	53262	52687	51300
750	7500	1000	52957	53734	53014	52108	53246	52664	51266
800	8000	1099	53100	53843	52959	52056	53225	52634	51286

Carga de Ruptura
15,800 tf

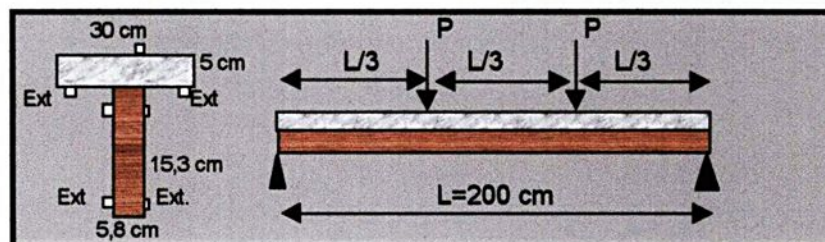


Tabela 4 – Ensaio da viga mista 1 com carregamento nos terços de vão

VIGA MISTA 1 - EUCALIPTO / CONCRETO - CÁLCULO DAS TENSÕES E DEFORMAÇÕES - RUPTURA 15/05/2001

CARGA	Ex1	Ex2	MÉDIA	Ex3	Ex4	MÉDIA	Ex5	Ex6	MÉDIA	Ex7
0	51503,00	52338,00	51920,50	53083,00	52215,00	52649,00	53388,00	53013,00	53200,50	51914,00
500	51596,00	52445,00	52020,50	53086,00	52220,00	52653,00	53379,00	53000,00	53189,50	51868,00
1000	51687,00	52536,00	52111,50	53087,00	52213,00	52650,00	53368,00	52977,00	53172,50	51820,00
1500	51784,00	52633,00	52208,50	53090,00	52211,00	52650,50	53360,00	52961,00	53160,50	51778,00
2000	51878,00	52721,00	52299,50	53093,00	52209,00	52651,00	53355,00	52950,00	53152,50	51733,00
2500	51973,00	52812,00	52392,50	53096,00	52206,00	52651,00	53349,00	52943,00	53146,00	51692,00
3000	52066,00	52900,00	52483,00	53100,00	52208,00	52654,00	53346,00	52930,00	53138,00	51653,00
3500	52150,00	52989,00	52569,50	53099,00	52207,00	52653,00	53337,00	52904,00	53120,50	51609,00
4000	52243,00	53080,00	52661,50	53097,00	52200,00	52648,50	53331,00	52876,00	53103,50	51575,00
4500	52354,00	53187,00	52770,50	53070,00	52175,00	52622,50	53309,00	52807,00	53058,00	51531,00
5000	52457,00	53238,00	52847,50	53075,00	52174,00	52624,50	53304,00	52798,00	53051,00	51487,00
5500	52560,00	53370,00	52965,00	53049,00	52151,00	52600,00	53286,00	52742,00	53014,00	51447,00
6000	52665,00	53468,00	53066,50	53031,00	52137,00	52584,00	53275,00	52706,00	52990,50	51384,00
6500	52752,00	53545,00	53148,50	53038,00	52138,00	52588,00	53271,00	52701,00	52986,00	51347,00
7000	52845,00	53638,00	53241,50	53035,00	52130,00	52582,50	53262,00	52687,00	52974,50	51300,00
7500	52957,00	53734,00	53345,50	53014,00	52108,00	52561,00	53246,00	52664,00	52955,00	51266,00
8000	53100,00	53843,00	53471,50	52959,00	52056,00	52507,50	53225,00	52634,00	52929,50	51286,00

ENSAIO - 15/05/2001

CARGA daN	Def. A	Def. B	Def. C	Def. D	Tensão A daN/cm ²	Tensão B daN/cm ²	Tensão C daN/cm ²	Tensão D daN/cm ²	Def. L/2 mm/100
0	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,00	0,00	0,00	0,00	0
500	0,000100	0,000004	-0,000011	-0,000046	19,41	0,78	-3,98	-16,63	64
1000	0,000191	0,000001	-0,000028	-0,000094	37,07	0,19	-10,12	-33,99	124
1500	0,000288	0,000002	-0,000040	-0,000136	55,89	0,29	-14,46	-49,17	186
2000	0,000379	0,000002	-0,000048	-0,000181	73,55	0,39	-17,35	-65,44	244
2500	0,000472	0,000002	-0,000055	-0,000222	91,60	0,39	-19,70	-80,26	301
3000	0,000563	0,000005	-0,000063	-0,000261	109,16	0,97	-22,60	-94,36	358
3500	0,000649	0,000004	-0,000080	-0,000305	125,94	0,78	-28,92	-110,27	416
4000	0,000741	-0,000001	-0,000097	-0,000339	143,80	-0,10	-35,07	-122,57	480
4500	0,000850	-0,000027	-0,000143	-0,000383	164,95	-5,14	-51,52	-138,47	574
5000	0,000927	-0,000025	-0,000150	-0,000427	179,89	-4,75	-54,05	-154,38	637
5500	0,001045	-0,000049	-0,000187	-0,000467	202,69	-9,51	-67,43	-168,84	719
6000	0,001146	-0,000065	-0,000199	-0,000530	222,39	-12,61	-71,95	-191,62	800
6500	0,001228	-0,000061	-0,000215	-0,000567	238,30	-11,84	-77,55	-205,00	848
7000	0,001321	-0,000067	-0,000226	-0,000614	256,35	-12,90	-81,71	-221,99	911
7500	0,001425	-0,000088	-0,000246	-0,000648	276,53	-17,08	-88,76	-234,28	1000
8000	0,001551	-0,000142	-0,000271	-0,000628	300,98	-27,46	-97,98	-227,05	1099

Tabela 5 – Cálculo das tensões da viga mista 1

Cálculo Teórico das Tensões e deformações - Norma DIN 1052/73									
VIGA 1 de Eucalipto									
Div. de Carga	Carga 2P daN	Mmax daN.cm	Tensão D daN/cm2	Tensão C daN/cm2	Tensão B daN/cm2	Tensão A daN/cm2	Deformação cm	T.Cis.max daN/cm2	Tensão CDm daN/cm2
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00	0
25	500,00	16665,00	-19,80	6,53	-4,82	27,25	0,062	2,87	6,636003
50	1000,00	33330,00	-39,60	13,06	-9,64	54,49	0,125	5,73	13,272006
75	1500,00	49995,00	-59,40	19,59	-14,46	81,74	0,187	8,60	19,908009
100	2000,00	66660,00	-79,21	26,12	-19,28	108,99	0,249	11,46	26,544012
125	2500,00	83325,00	-99,01	32,65	-24,11	136,24	0,312	14,33	33,180015
150	3000,00	99990,00	-118,81	39,18	-28,93	163,48	0,374	17,19	39,816018
175	3500,00	116655,00	-138,61	45,71	-33,75	190,73	0,436	20,06	46,452021
200	4000,00	133320,00	-158,41	52,23	-38,57	217,98	0,499	22,92	53,088024
225	4500,00	149985,00	-178,21	58,76	-43,39	245,23	0,561	25,79	59,724027
250	5000,00	166650,00	-198,01	65,29	-48,21	272,47	0,623	28,65	66,36003
275	5500,00	183315,00	-217,81	71,82	-53,03	299,72	0,685	31,52	72,996033
300	6000,00	199980,00	-237,62	78,35	-57,85	326,97	0,748	34,38	79,632036

Cálculo Teórico das Tensões e deformações - Norma NBR 7190/97								
Div. de Carga	Carga 2P daN	Mmax daN.cm	Tensão D daN/cm2	Tensão C daN/cm2	Tensão B daN/cm2	Tensão A daN/cm2	Deformação cm	T.Cis.max daN/cm2
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00
25	500,00	16665,00	-17,44	0,16	3,88	25,33	0,057	2,51
50	1000,00	33330,00	-34,88	0,32	7,77	50,66	0,115	5,02
75	1500,00	49995,00	-52,32	0,49	11,65	75,99	0,172	7,53
100	2000,00	66660,00	-69,77	0,65	15,53	101,32	0,230	10,04
125	2500,00	83325,00	-87,21	0,81	19,42	126,65	0,287	12,55
150	3000,00	99990,00	-104,65	0,97	23,30	151,98	0,345	15,05
175	3500,00	116655,00	-122,09	1,13	27,18	177,32	0,402	17,56
200	4000,00	133320,00	-139,53	1,30	31,07	202,65	0,460	20,07
225	4500,00	149985,00	-156,97	1,46	34,95	227,98	0,517	22,58
250	5000,00	166650,00	-174,42	1,62	38,83	253,31	0,574	25,09
275	5500,00	183315,00	-191,86	1,78	42,72	278,64	0,632	27,60
300	6000,00	199980,00	-209,30	1,94	46,60	303,97	0,689	30,11

Tabela 6 – Cálculo das tensões e flechas no meio do vão, pelas normas DIN e NBR da viga mista 1

Ensaio de Flexão Viga de Eucalipto-2 - 5,8x15,3x200 cm - 06/03/2001

Constante do anel = 4,778 Kgf

Div.Carga	Carga(Kgf)	Def.Lado A	Def. Lado B	Def.Média	E (Kgf/cm2)
0	0	0	0	0	0
30	143,34	91	90	90,5	152500,2314
60	286,68	173	171	172	160479,8947
90	430,02	249	247	248	166950,8582
120	573,36	324	323	323,5	170649,4089
150	716,7	401	400	400,5	172300,5111
180	860,04	479	477	478	173237,7106
210	1003,38	553	550	551,5	175174,7898
240	1146,72	628	626	627	176092,7712
270	1290,06	707	702	704,5	176311,4812

$$E = 174623,453 \text{ Kgf/cm}^2$$

Esquema estrtural da Viga

Seção transversal

5.8x15.3 cm

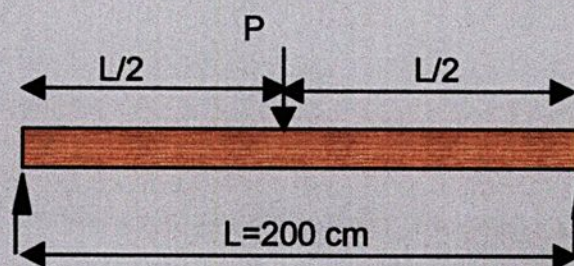


Tabela 7 – Viga 2 de Eucalipto

Determinação do Módulo de Elasticidade do Concreto

Moldagem : 06/03/2001

Ensaio: 04/04/2001

Equipamento Utilizado : AMSLER

DIÂMETRO: 15,0 cm

L=30,0 cm

N ° do CP : VIGA - 2/3

ÁREA: 177 cm²

CARGA		TENSAO	LEITURAS			Lm	DEF.VERT micra
LIDA	CORR.	(MPa)	1	2	3		
0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	
3,0	3,0	1,70	7,0	7,0	7,0	7,0	0,2
6,0	6,0	25,00	24,0	25,0	25,0	24,7	0,6
9,0	9,0	5,09	40,0	42,0	41,0	41,0	1,0
12,0	12,0	6,79	58,0	59,0	60,0	59,0	1,4
15,0	15,0	8,49	75,0	76,0	76,0	75,7	1,8
18,0	18,0	10,19	92,0	93,0	93,0	92,7	2,3
21,0	21,0	11,88	110,0	110,0	110,0	110,0	2,7

Módulo Elasticidade = 40,63 GPa

Tensão de Ruptura = 31,027 MPa

Carga de Ruptura = 54700 daN

Tabela 8 – Ensaio do concreto da viga mista 2

Ensaio Viga Mista 2 - Eucalipto e Concreto

Moldagem : 06/03/2000 Ensaio :29/05/2001

Constante do anel : 4,778 daN

Div. de Carga	Carga (Kgf)	Def. (l/2) mm/100	Ex1	Ex2	Ex3	Ex4	Ex5	Ex6	Ex7
0	0,00	0	55279	54378	60103	52556	55409	58186	57686
50	238,90	40	55331	54455	60116	52560	55434	58219	57634
100	477,80	82	55392	54526	60128	52560	55467	58259	57573
150	716,70	120	55453	54599	60138	52564	55493	58272	57506
200	955,60	160	55510	54676	60149	52565	55509	58724	57437
250	1194,50	199	55575	54751	60164	52568	55492	59947	57344
300	1433,40	237	55631	54287	60177	52572	55444	60495	57257
350	1672,30	277	55692	54907	60187	52575	55407	60880	57153
400	1911,20	315	55742	54988	60200	52577	55403	61404	57057
450	2150,10	357	55805	55071	60206	52577	55400	61487	56958
500	2389,00	398	55872	55146	60215	52577	55400	61559	56856
Residual		34	55294	54395	60102	52540	55367	59303	57590

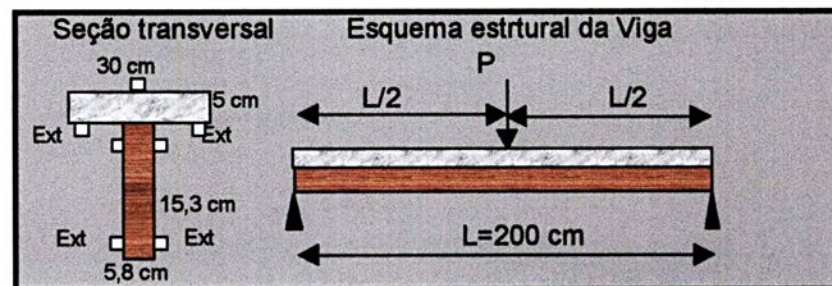


Tabela 9 – Ensaio da viga mista 2 com carga concentrada

Ensaio Viga Mista 2 - Eucalipto e Concreto - Ruptura

Moldagem : 01/03/2001 Ensaio : 29/05/2001

Constante da Célula de Carga : 10 daN

Div. de Carga	Carga (daN)	Def. (l/2) mm/100	Ex1	Ex2	Ex3	Ex4	Ex5	Ex6	Ex7
0	0	0	55276	54404	60126	52548	55364	59188	57601
50	500	93	55390	54568	60138	52550	55371	59198	57555
100	1000	150	55473	54669	60144	52551	55373	59200	57518
150	1500	211	55556	54775	60150	52551	55375	59208	57483
200	2000	272	55636	54885	60159	52553	55376	59221	57444
250	2500	327	55709	54985	60167	52558	55381	59231	57404
300	3000	397	55791	55092	60176	52560	55383	59238	57371
350	3500	431	55861	55181	60182	52562	55384	59243	57342
400	4000	511	55953	55296	60187	52560	55383	59238	57300
450	4500	570	56028	55394	60190	52558	55381	59235	57272
500	5000	632	56100	55496	60190	52555	55381	59226	57242
550	5500	691	56178	55593	60194	52554	55381	59219	57206
600	6000	815	56297	55767	60194	52542	55377	59177	57166
650	6500	875	56386	55875	60200	52545	55377	59173	57135
700	7000	982	56508	56026	60197	52531	55375	59135	57095
750	7500	1070	56600	56140	60199	52525	55376	59117	57067
800	8000	1134	56677	56226	60200	52522	55376	59107	57043
850	8500								
900	9000								
930	9300								

**Carga de Ruptura
9300 daN**

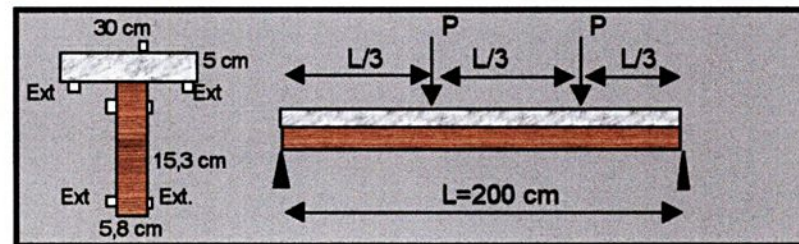


Tabela 10 – Ensaio da viga mista 2 com carregamento nos terços de vão

VIGA MISTA 2 - EUCALIPTO / CONCRETO - CÁLCULO DAS TENSÕES E DEFORMAÇÕES										
Ensaio de ruptura - 29/05/2001										
CARGA	Ex1	Ex2	MÉDIA	Ex3	Ex4	MÉDIA	Ex5	Ex6	MÉDIA	Ex7
0	55276,00	54404,00	54840,00	60126,00	52548,00	56337,00	55364,00	59188,00	57276,00	57601,00
500	55390,00	54568,00	54979,00	60138,00	52550,00	56344,00	55371,00	59198,00	57284,50	57555,00
1000	55473,00	54669,00	55071,00	60144,00	52551,00	56347,50	55373,00	59200,00	57286,50	57518,00
1500	55556,00	54775,00	55165,50	60150,00	52551,00	56350,50	55375,00	59208,00	57291,50	57483,00
2000	55636,00	54885,00	55260,50	60159,00	52553,00	56356,00	55376,00	59221,00	57298,50	57444,00
2500	55709,00	54985,00	55347,00	60167,00	52558,00	56362,50	55381,00	59231,00	57306,00	57404,00
3000	55791,00	55092,00	55441,50	60176,00	52560,00	56368,00	55383,00	59238,00	57310,50	57371,00
3500	55861,00	55181,00	55521,00	60182,00	52562,00	56372,00	55384,00	59243,00	57313,50	57342,00
4000	55953,00	55296,00	55624,50	60187,00	52560,00	56373,50	55383,00	59238,00	57310,50	57300,00
4500	56028,00	55394,00	55711,00	60190,00	52558,00	56374,00	55381,00	59235,00	57308,00	57272,00
5000	56100,00	55496,00	55798,00	60190,00	52555,00	56372,50	55381,00	59226,00	57303,50	57242,00
5500	56178,00	55593,00	55885,50	60194,00	52554,00	56374,00	55381,00	59219,00	57300,00	57206,00
6000	56297,00	55767,00	56032,00	60194,00	52542,00	56368,00	55377,00	59177,00	57277,00	57166,00
6500	56386,00	55875,00	56130,50	60200,00	52545,00	56372,50	55377,00	59173,00	57275,00	57135,00
7000	56508,00	56026,00	56267,00	60197,00	52531,00	56364,00	55375,00	59135,00	57255,00	57098,00
7500	56600,00	56140,00	56370,00	60199,00	52525,00	56362,00	55376,00	59117,00	57246,50	57067,00
8000	56677,00	56226,00	56451,50	60200,00	52522,00	56361,00	55376,00	59107,00	57241,50	57043,00
ENSAIO - 29/05/2001										
CARGA daN	Def. A	Def. B	Def. C	Def. D	Tensão A daN/cm2	Tensão B daN/cm2	Tensão C daN/cm2	Tensão D daN/cm2	Def.L/2 mm/100	
0	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,00	0,00	0,00	0,00	0	
500	0,000139	0,000007	0,000009	-0,000046	26,97	1,36	3,07	-16,63	93	
1000	0,000231	0,000011	0,000011	-0,000083	44,83	2,04	3,80	-30,01	150	
1500	0,000326	0,000014	0,000016	-0,000118	63,17	2,62	5,60	-42,66	211	
2000	0,000421	0,000019	0,000023	-0,000157	81,60	3,69	8,13	-56,76	272	
2500	0,000507	0,000026	0,000030	-0,000197	98,39	4,95	10,85	-71,23	327	
3000	0,000602	0,000031	0,000035	-0,000230	116,73	6,02	12,47	-83,16	397	
3500	0,000681	0,000035	0,000038	-0,000259	132,15	6,79	13,56	-93,64	431	
4000	0,000785	0,000037	0,000035	-0,000301	152,24	7,08	12,47	-108,83	511	
4500	0,000871	0,000037	0,000032	-0,000329	169,02	7,18	11,57	-118,95	570	
5000	0,000958	0,000036	0,000028	-0,000359	185,91	6,89	9,94	-129,80	632	
5500	0,001046	0,000037	0,000024	-0,000395	202,89	7,18	8,68	-142,81	691	
6000	0,001192	0,000031	-0,000008	-0,000435	231,32	6,02	-2,71	-157,27	815	
6500	0,001291	0,000036	-0,000001	-0,000466	250,43	6,89	-0,36	-168,48	875	
7000	0,001427	0,000027	-0,000021	-0,000503	276,92	5,24	-7,59	-181,86	982	
7500	0,001530	0,000025	-0,000030	-0,000534	296,91	4,85	-10,67	-193,07	1070	
8000	0,001612	0,000024	-0,000035	-0,000558	312,72	4,66	-12,47	-201,74	1134	

Tabela 11 – Cálculo das tensões da viga mista 2

Cálculo Teórico das Tensões e deformações - Norma DIN 1052/73								
VIGA 1 de Eucalipto								
Div. de Carga	Carga 2P daN	Mmax daN.cm	Tensão D daN/cm ²	Tensão C daN/cm ²	Tensão B daN/cm ²	Tensão A daN/cm ²	Deformação cm	T.Cis.max daN/cm ²
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00
25	500,00	16665,00	-21,27	7,86	-3,78	26,46	0,059	2,84
50	1000,00	33330,00	-42,53	15,71	-7,57	52,92	0,118	5,67
75	1500,00	49995,00	-63,80	23,57	-11,35	79,38	0,176	8,51
100	2000,00	66660,00	-85,06	31,42	-15,14	105,84	0,235	11,34
125	2500,00	83325,00	-106,33	39,28	-18,92	132,30	0,294	14,18
150	3000,00	99990,00	-127,60	47,13	-22,71	158,76	0,353	17,01
175	3500,00	116655,00	-148,86	54,99	-26,49	185,22	0,411	19,85
200	4000,00	133320,00	-170,13	62,84	-30,27	211,69	0,470	22,68
225	4500,00	149985,00	-191,40	70,70	-34,06	238,15	0,529	25,52
250	5000,00	166650,00	-212,66	78,56	-37,84	264,61	0,588	28,35
275	5500,00	183315,00	-233,93	86,41	-41,63	291,07	0,646	31,19
300	6000,00	199980,00	-255,19	94,27	-45,41	317,53	0,705	34,02

Cálculo Teórico das Tensões e deformações - Norma NBR 7190/97								
Div. de Carga	Carga 2P daN	Mmax daN.cm	Tensão D daN/cm ²	Tensão C daN/cm ²	Tensão B daN/cm ²	Tensão A daN/cm ²	Deformação cm	T.Cis.max daN/cm ²
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00
25	500,00	16665,00	-18,56	1,32	4,26	24,90	0,072	2,48
50	1000,00	33330,00	-37,13	2,63	8,52	49,80	0,143	4,95
75	1500,00	49995,00	-55,69	3,95	12,78	74,69	0,215	7,43
100	2000,00	66660,00	-74,26	5,26	17,04	99,59	0,287	9,90
125	2500,00	83325,00	-92,82	6,58	21,30	124,49	0,358	12,38
150	3000,00	99990,00	-111,39	7,90	25,56	149,39	0,430	14,86
175	3500,00	116655,00	-129,95	9,21	29,82	174,28	0,501	17,33
200	4000,00	133320,00	-148,52	10,53	34,08	199,18	0,573	19,81
225	4500,00	149985,00	-167,08	11,85	38,34	224,08	0,645	22,28
250	5000,00	166650,00	-185,65	13,16	42,60	248,98	0,716	24,76
275	5500,00	183315,00	-204,21	14,48	46,86	273,87	0,788	27,24
300	6000,00	199980,00	-222,78	15,79	51,11	298,77	0,860	29,71

Tabela 12 – Cálculo das tensões e flechas no meio do vão pelas normas DIN e NBR, da viga mista 2.

ANEXO C

Vigas mistas 1 de cupiúba-concreto



Ensaio Viga 1 Mista - Cupiúba e Concreto

Moldagem : 11/10/2001

Ensaio : 09/11/2001

Constante da Célula de Carga : 4,778 daN

iv. de Carga	Carga (daN)	Def. (l/2) mm/100	Ex1	Ex2	Ex3	Ex4	Ex5	Ex6	Ex7
0	0,00	0	52392	52528	53042	52263	53560	52013	51900
50	238.9	62	52514	52702	53072	52304	53612	52090	51820
100	243.6	130	52644	52865	53086	52331	53642	52200	51724
150	716.7	206	52792	53081	53097	52353	53668	52005	51535
200	955.6	294	52955	53299	53096	52352	53685	52002	51388
250	1194.5	367	53124	53519	53082	52344	53679	52003	51264
300	1422.4	450	53285	53736	53071	52334	53681	51997	51156
	Residual	15	52453	52630	53020	52229	53539	51912	52143

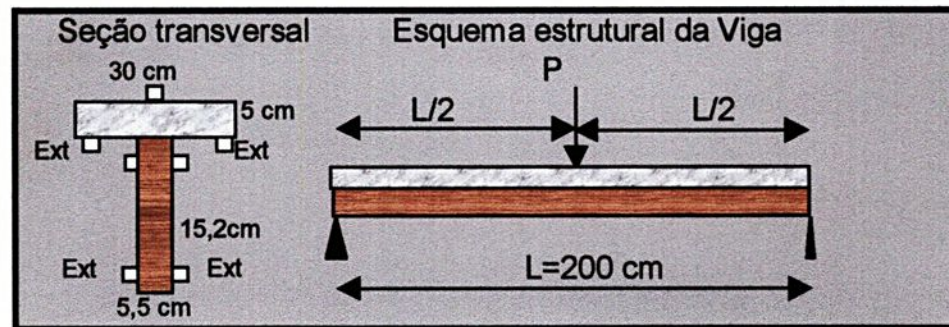


Tabela 1 – Ensaio da viga mista 1 com carga concentrada

VIGA MISTA 1 - PINUS / CONCRETO - CÁLCULO DAS TENSÕES E DEFORMAÇÕES										
Carga	ENSAIO - 09/11/2001									
2P (daN)	Ex1	Ex2	MÉDIA	Ex3	Ex4	MÉDIA	Ex5	Ex6	MÉDIA	Ex7
0,00	52491	52713	52602,00	53007	52210	52608,50	53554	51933	52743,50	51865
500,00	52660	52947	52803,50	53033	52246	52639,50	53574	51958	52766,00	51812
1000,00	52832	53188	53010,00	53050	52272	52661,00	53589	51974	52781,50	51761
1500,00	53000	53423	53211,50	53067	52296	52681,50	53602	51984	52793,00	51707
2000,00	53189	53691	53440,00	53086	52318	52702,00	53613	51992	52802,50	51651
2500,00	53343	53932	53637,50	53106	52346	52726,00	53624	52000	52812,00	51596
3000,00	53515	54153	53834,00	53119	52371	52745,00	53633	52005	52819,00	51538
3500,00	53697	54408	54052,50	53136	52390	52763,00	53643	52013	52828,00	51481
4000,00	53860	54639	54249,50	53138	52396	52767,00	53653	52019	52836,00	51434

CARGA 2P	Def. A	Def. B	Def. C	Def. D	Tensão A	Tensão B	Tensão C	Tensão D	Def.L/2
daN					daN/cm2	daN/cm2	daN/cm2	daN/cm2	mm/100
500,00	0,00020150	0,00003100	0,00002250	-0,00005300	21,16	3,26	10,28	-24,22	109
1000,00	0,00040800	0,00005250	0,00003800	-0,00010400	42,84	5,51	17,37	-47,53	224
1500,00	0,00060950	0,00007300	0,00004950	-0,00015800	64,00	7,67	22,62	-72,21	334
2000,00	0,00083800	0,00009350	0,00005900	-0,00021400	87,99	9,82	26,96	-97,80	446
2500,00	0,00103550	0,00011750	0,00006850	-0,00026900	108,73	12,34	31,30	-122,93	559
3000,00	0,00123200	0,00013650	0,00007550	-0,00032700	129,36	14,33	34,50	-149,44	671
3500,00	0,00145050	0,00015450	0,00008450	-0,00038400	152,30	16,22	38,62	-175,49	785
4000,00	0,00164750	0,00015850	0,00009250	-0,00043100	172,99	16,64	42,27	-196,97	928

Tabela 2 – Cálculo das tensões da viga mista 1 com carregamento nos terços de vão

Cálculo Teórico das Tensões e deformações - Norma DIN 1052/73								
VIGA 1 de Cupiuba								
Div. de Ca	Carga 2P (daN)	Mmax daN.cm	Tensão D daN/cm2	Tensão C daN/cm2	Tensão B daN/cm2	Tensão A daN/cm2	Deformaç cm	T.Cis.max daN/cm2
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00
25	500,00	16665,00	-34,65	23,04	-4,44	25,26	0,108	2,82
50	1000,00	33330,00	-69,31	46,09	-8,87	50,52	0,215	5,63
75	1500,00	49995,00	-103,96	69,13	-13,31	75,78	0,323	8,45
100	2000,00	66660,00	-138,61	92,18	-17,74	101,04	0,430	11,27
125	2500,00	83325,00	-173,27	115,22	-22,18	126,30	0,538	14,08
150	3000,00	99990,00	-207,92	138,27	-26,62	151,56	0,645	16,90
175	3500,00	116655,00	-242,57	161,31	-31,05	176,83	0,753	19,72
200	4000,00	133320,00	-277,23	184,35	-35,49	202,09	0,861	22,53
225	4500,00	149985,00	-311,88	207,40	-39,93	227,35	0,968	25,35
250	5000,00	166650,00	-346,53	230,44	-44,36	252,61	1,076	28,17
275	5500,00	183315,00	-381,19	253,49	-48,80	277,87	1,183	30,98
300	6000,00	199980,00	-415,84	276,53	-53,23	303,13	1,291	33,80
Cálculo Teórico das Tensões e deformações - Norma NBR 7190/97								
Div. de Ca	Carga 2P (daN)	Mmax daN.cm	Tensão D daN/cm2	Tensão C daN/cm2	Tensão B daN/cm2	Tensão A daN/cm2	Deformaç cm	T.Cis.max daN/cm2
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00
25	500,00	16665,00	-26,44	9,81	5,59	24,25	0,115	4,60
50	1000,00	33330,00	-52,88	19,62	11,17	48,49	0,229	9,21
75	1500,00	49995,00	-79,33	29,43	16,76	72,74	0,344	13,81
100	2000,00	66660,00	-105,77	39,24	22,34	96,98	0,459	18,41
125	2500,00	83325,00	-132,21	49,05	27,93	121,23	0,573	23,01
150	3000,00	99990,00	-158,65	58,85	33,52	145,48	0,688	27,62
175	3500,00	116655,00	-185,10	68,66	39,10	169,72	0,803	32,22
200	4000,00	133320,00	-211,54	78,47	44,69	193,97	0,917	36,82
225	4500,00	149985,00	-237,98	88,28	50,27	218,21	1,032	41,42
250	5000,00	166650,00	-264,42	98,09	55,86	242,46	1,147	46,03
275	5500,00	183315,00	-290,87	107,90	61,45	266,70	1,261	50,63
300	6000,00	199980,00	-317,31	117,71	67,03	290,95	1,376	55,23

Tabela 3 – Cálculo das tensões e flechas no meio do vão pelas noemas DIN e NBR da viga mista