



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO

INSTITUTO DE FLORESTAS

CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**AVALIAÇÕES DE LIGAÇÕES COM CAVILHAS, PARAFUSOS E CAVILHAS EM
PEÇAS DE MADEIRA DE *Eucalyptus spp.***

IGOR BRUM RUBIM

ORIENTADOR: PROF. DR. ALEXANDRE MIGUEL DO NASCIMENTO

SEROPÉDICA/RJ

MAIO DE 2005



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO

INSTITUTO DE FLORESTAS

CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**AVALIAÇÕES DE LIGAÇÕES COM CAVILHAS, PARAFUSOS E CAVILHAS EM
PEÇAS DE MADEIRA DE *Eucalyptus spp.***

IGOR BRUM RUBIM

Monografia apresentada ao Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

ORIENTADOR: PROF. DR. ALEXANDRE MIGUEL DO NASCIMENTO

SEROPÉDICA/RJ

Maio de 2006

AVALIAÇÕES DE LIGAÇÕES COM CAVILHAS, PARAFUSOS E CAVILHAS EM PEÇAS DE MADEIRA DE *EUCALYPTUS* SPP.

Resumo

Esse trabalho o objetivo foi avaliar três diferentes tipos de elementos de ligação utilizados em uma estrutura de madeira: cavilhas, parafusos e pregos. A comparação entre a resistência de cada tipo de ligação foi acertada pelo ensaio de resistência à compressão paralela às fibras do corpo-de-prova, como estabelecido pela NBR 7190/97. Pôde-se constatar a melhor resistência na ligação com pregos, seguida da ligação com cavilhas e por último a ligação com parafusos; embora os resultados estimados indicassem que a melhor resistência fosse das ligações com parafusos, seguidas das ligações com pregos e por último das ligações com cavilhas. Os valores das resistências encontrados foram: 502MPa, 360MPa e 239MPa, respectivamente para ligações pregadas, cavilhadas e parafusadas.

Palavras-chave: estrutura de madeira, elementos de ligação, cavilhas, pregos e parafusos.

BANCA EXAMINADORA:**Orientador:**

Prof. Dr. Alexandre Miguel do Nascimento

DPF/IF/UFRRJ

Titular da Banca:

Prof. Dr. Alexandre Monteiro de Carvalho

DPF/IF/UFRRJ

Prof. Dr. Roberto Carlos Costa Lelis

DPF/IF/UFRRJ

ABSTRACT

This paper has the objective of measure three different types of joint rods applied in wood connections: bonded-in rods, screws and nails. The comparison between each type of connection is based in the fiber parallel pressure of the specimens, as established at NRB 7190/97. The best resistance was founded in the nail connection, followed by the bounded-in rod connection and screw connection the last one; although the best connection estimated was the screwed ones, followed by the nailed ones. The resistance values founded were: 502MPa, 360MPa and 239MPa respectively to connections screwed, bounded-in rod and nailed.

Key-words: wood structure, joint rods, bonded-in rods, screw, nail.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida, por me possibilitar a realização desse trabalho e pela salvação em Jesus Cristo.

Aos meus pais que me apóiam, me incentivam e contribuíram diretamente para esse trabalho e ao meu irmão, companheiro e amigo de todos os momentos.

Ao professor Alexandre Miguel do Nascimento, pelos ensinamentos, orientação e paciência que teve comigo.

Ao professor Alexandre Monteiro de Carvalho, por viabilizar a aquisição do material necessário. Ao senhor Luiz Carlos Ferreira, gerente da LPZ, pela doação de parte do material utilizado.

À Aline de Souza Ramos, minha namorada e companheira, por contribuir com as pesquisas fornecendo material bibliográfico a este trabalho e sugestões, bem como pelo carinho e apoio.

Aos colegas Bruna Cristina, Carlos Felipe de Siqueira Jaccoud, Michele de Oliveira Ribeiro e Nahami da Silva Lima Borba pela colaboração para a realização deste trabalho.

Ao Sebastião da marcenaria e demais funcionários que me auxiliaram no preparo do material.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	7
2. REVISÃO DE LITERATURA	8
2.1. Propriedades físicas e mecânicas da madeira	8
2.2. Ligações	10
2.3. Aproveitamento da madeira	11
3. MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1. Origem e características do material utilizado	13
3.2. Secagem	14
3.3. Processamento mecânico da madeira	15
3.4. Aclimatização	15
3.5. Determinação da umidade	16
3.6. Determinação da massa específica aparente	17
3.7. Determinação da resistência à compressão paralela	17
3.8. Manufatura dos corpos-de-prova	18
3.8.1. Preparo dos corpos-de-prova cavilhados	19
3.8.2. Preparo dos corpos-de-prova parafusados	20
3.8.3. Preparo dos corpos-de-prova pregados	21
3.9. Procedimento do teste das ligações	22
3.9.1. Determinação da carga limite	22
3.9.2. Determinação da resistência da ligação	24
3.10 Resistência estimada das ligações	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1. Avaliação da umidade e da massa específica	29
4.2. Resultado do teste mecânico	30
4.3. Resultado das estimativas das resistências das ligações	30
4.4. Resultado das avaliações das ligações	32
4.5. Análise estatística dos resultados	38
5. CONCLUSÕES	40
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
ANEXO 1	44
ANEXO 2	50

1. INTRODUÇÃO

A madeira é um material orgânico, sólido, anisotrópico e higroscópico. Essas características lhe confere algumas vantagens e outras desvantagens na utilização. Esse material pode ser empregado em várias funções; logo, faz-se necessário o estudo aprofundado na tentativa de se esclarecer melhor quais as opções que o material oferece para ser trabalhado.

De acordo com as características citadas acima, uma das desvantagens é o fato de ser anisotrópico (movimentação diferenciada nas três dimensões). Isso significa que ao se projetar algum objeto de madeira é necessário considerar a movimentação (expansão e retração) do material; esses movimentos são provocados pela absorção ou liberação de umidade de acordo com a umidade do ambiente, o que caracteriza a higroscopicidade da madeira. Além disso, o fato de ser orgânico interfere diretamente na sua durabilidade natural. Organismos degradadores de madeira consomem os objetos e diminuem sua resistência. Por outro lado, justamente por se tratar de matéria orgânica, o material madeira pode ser renovado naturalmente, pois é proveniente da transformação do gás carbônico em componentes orgânicos à base de glicose com auxílio de energia solar.

Estruturas de madeira são utilizadas para a construção de habitações, pontes e partes de veículos de transporte. O estudo das estruturas é importante para que seja garantida a segurança da vida humana que se utiliza desses tipos de emprego da madeira. Mas existem estruturas de madeira que precisam ser instaladas em grandes espaços, podendo acontecer de as peças utilizadas não cobrirem as distâncias necessárias. Logo se faz necessário o emprego e ligações em peças de madeira utilizando elementos de ligação, os quais podem ser: anéis metálicos, cavilhas, chapas denteadas, parafusos e pregos.

Sendo assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a resistência de ligações com os seguintes elementos de ligação: cavilhas, pregos e parafusos. Existe a necessidade de avaliar os diferentes tipos de ligação para o conhecimento da eficiência de cada um. Com essa informação se pode escolher melhor o tipo de ligação para cada finalidade de acordo com as opções de material disponível e o custo da confecção das estruturas em cada região do país.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira

A resistência à compressão paralela é uma das propriedades mecânicas determinadas para proceder aos ensaios em corpos-de-

prova de ligação de madeira. De acordo com AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL apud PRATA (1990) citado por CAMPOS & SALES (2000) a resistência à compressão é uma importante propriedade mecânica, pois é variável ao longo da árvore de acordo com a geometria dos anéis de crescimento, que possuem curvatura que variam com a proximidade da medula e a idade.

De acordo com a NBR 7190/97 densidade básica é a massa específica convencional obtida pelo quociente da massa seca pelo volume saturado. A massa seca é obtida mantendo os corpos-de-prova em estufa a 103 °C até atingir peso constante. O volume saturado é obtido imergindo os corpos-de-prova em água até atingirem peso constante. De acordo com OLIVEIRA et al (2005) densidade é reconhecida como um dos mais importantes parâmetros para avaliação da qualidade da madeira, por ser de fácil determinação e estar relacionada com as demais características da madeira.

A determinação da umidade na madeira é importante, pois influencia diretamente suas propriedades de resistência. A resistência aumenta de acordo com a diminuição da umidade. De acordo com OLIVEIRA et al (2005) a umidade na madeira pode variar de 31 a 249% no cerne e 41 a 213% no alburno nas seguintes espécies de Eucalipto: *Eucalyptus citriodora*, *E. tereticornis*, *E.*

paniculata, *E. pilularis*, *E. cloeziana*, *E. urophylla* e *E. grandis*.

2.2.Ligações

As ligações mecânicas de madeira podem ser feitas com os seguintes elementos: pinos metálicos (parafusos e pregos), cavilhas, anéis metálicos, chapas denteadas.

De acordo com MOLITERNO (1986) cavilhas são cilindros de madeira utilizados como elementos de ligação em estruturas de madeira. Por ser do material madeira (uma substância orgânica) é constituído de moléculas orgânicas grandes. Isso lhe confere uma vantagem diante dos metais quando há a necessidade de se ter uma estrutura de madeira que pode eventualmente estar em contato com substâncias corrosivas como ácidos e bases.

De acordo com de SOUZA JÚNIOR & GESUALDO (2000) é necessário o desenvolvimento de novos estudos para melhor utilização da madeira e para minorar os seus defeitos. ANDRADE et al (2000) ressaltam que as ligações são aspectos críticos em um projeto de estruturas de madeira. Para o cálculo de resistência das ligações é fundamental conhecer a resistência ao embutimento (f_{ed}). A resistência ao embutimento é definida pela razão entre a força F_e que causa uma deformação específica residual de 0,2% e a área de embutimento do pino $A=t.d$. Este trabalho não se propôs a estudar

o embutimento experimentalmente, porém VALLE et al (2000) apresentam resultados desse tipo de avaliação em diferentes ângulos de orientação das fibras. BAINBRIDGE et al (2002) fizeram propostas aos métodos de avaliação do Eurocode quanto ao carregamento e comportamento à fadiga nas ligações de madeira e concluíram que o código provê base para relacionar os materiais e suas características envolvidos; para tanto utilizaram adesivos e elementos de ligação (cavilhas) para realizarem os testes.

STAMATO & CALIL JÚNIOR (2002) consideraram a resistência de uma ligação de madeira dependente na flexão do pino (cavilhas, parafusos ou pregos) e ao embutimento destes na madeira, e propuseram o estudo separado dos fenômenos. Consideraram como embutimento, as tensões que surgem do contato entre o pino e a madeira na ligação no momento da penetração, ou durante a atuação de uma força externa quando na atuação solidária dos corpos de madeira.

2.3. Aproveitamento da madeira

Outro fator importante é que como qualquer outro produto da transformação de compostos orgânicos, seus resíduos podem ser devolvidos diretamente para o ambiente, desde que em local apropriado. Há ainda a possibilidade de utilização de seus rejeitos como matéria-prima para outros produtos (TEIXEIRA 2005).

Uma análise comparando a produção de madeira em relação a outros materiais (produtos) revela um consumo de energia menor na produção de madeira. O consumo de energia em valores relativos indica que a quantidade necessária para se produzir aço é dezessete vezes maior do que para produzir madeira.

De acordo com CARVALHO & LAHR (2000), a madeira é um material versátil para fins estruturais; no entanto não é tão utilizada como tal. Embora seja um material fácil de ser trabalhado e com boa disponibilidade no ambiente, faltam informações para o pleno conhecimento e correta utilização do material.

STAMATO & CALIL JÚNIOR (2002) também afirmam a versatilidade da madeira quanto à utilização para fins estruturais. E concordam que é pouco empregada por projetistas por falta de estudos na área. SMITH & WHALE (1986) citados por STAMATO & CALIL JÚNIOR (2002) afirmam que para implantação de métodos de cálculo mais racionais é necessário conhecer as características de carga versus deformação e das propriedades de resistências de vários tipos de ligações mecânicas.

3. Material e métodos

3.1. Origem e característica do material utilizado.

O material utilizado na confecção dos corpos-de-prova foi madeira de *Eucalyptus grandis*, aos quinze anos de idade coletada na cidade de Piraí - RJ. Essa madeira foi doada pela empresa LPZ Artefatos de Madeira e Serviços LTDA.

Das árvores abatidas, foram retiradas vinte peças com dimensões de 3x15x200 centímetros e onze peças com dimensões de 6x15x200 centímetros que foram trazidas ao pátio de secagem da U.F.R.R.J.

Os elementos de ligação tiveram procedência variada. Os parafusos e pregos foram adquiridos no comércio de materiais de construção de Itaguaí - RJ. Os parafusos foram confeccionados a partir de barras de 5/8" de diâmetro por 1m de comprimento de rosca sem-fim e seccionados com comprimento de 14cm. As cavilhas foram feitas a partir de retalhos de maçaranduba encontrados na marcenaria do Departamento de Produtos Florestais, visando aproveitar o resíduo. As cavilhas foram obtidas por processamento da madeira em torno mecânico com comprimento de 13cm. Os pregos foram adquiridos comercialmente com bitola de 18x30 e com as seguintes medidas: 3,4mm de diâmetro por 6cm de comprimento. A NBR 7190/97 admite diâmetro mínimo de 3mm. Os pregos obedeceram aos requisitos da NBR 6627 - Pregos Comuns e Arestas de Aço para

Madeiras. Abaixo na Figura 1, são apresentados exemplos de cada elemento de ligação utilizado:

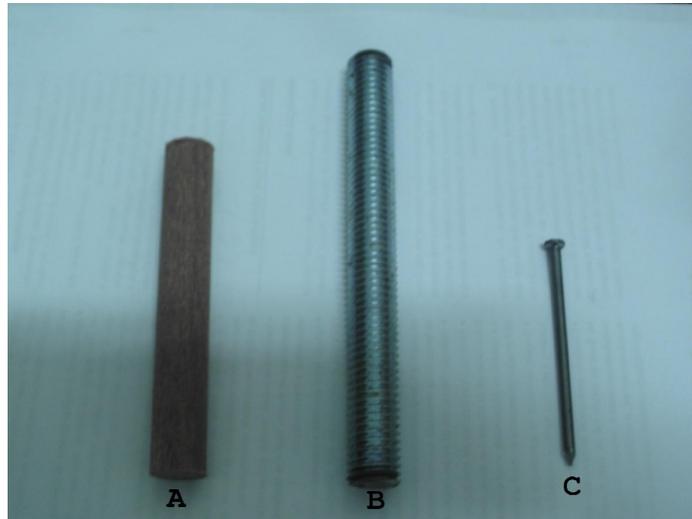


Figura 1. Elementos de ligação utilizados: (A) cavilha, (B) parafuso e (C) prego.

De acordo com a Norma NBR 7190/97, o diâmetro mínimo para as cavilhas é de 16mm. Da mesma maneira os parafusos estão assim determinados, com diâmetro mínimo admitido de 10mm. Assim sendo, os corpos-de-prova foram projetados com dimensões mínimas para ligações cavilhadas e parafusadas de 16mm. Todos os tipos de ligações tinham as características do corpo-de-prova com cavilhas, usado como referência, obedecendo às especificações da norma.

3.2. Secagem da madeira.

As peças de madeira foram organizadas para passarem pelo processo de secagem natural, ou ao ar livre. Retiraram-se amostras de controle para se determinar a umidade inicial e

monitorar seu decréscimo. Devidamente organizadas por separadores (tabiques) permaneceram sob ambiente coberto. Após 28 dias atingiu-se a umidade de equilíbrio, então as peças foram conduzidas à marcenaria do D.P.F. do I.F. - U.F.R.R.J. para serem processadas.

3.3. Processamento mecânico da madeira.

Na marcenaria a madeira foi cortada inicialmente na serra-circular. Levada ao desempenho e então ao desengrosso até atingir a espessura de 2,5cm (cobrejuntas) e 5cm(peça principal). As peças com essas dimensões foram seccionadas no comprimento (30cm) e largura(11cm) devidos na serra-circular.

3.4. Aclimatização

Durante todo o tempo desde que saíram do pátio de secagem até serem montados os corpos-de-prova a madeira permaneceu na marcenaria. As peças permaneceram em ambiente seco e arejado, sobre o piso do galpão da marcenaria.

3.5. Determinação da umidade

A umidade foi determinada com corpos-de-prova com dimensões especificadas de acordo com a Figura 2, cujas medidas se encontram em milímetros.

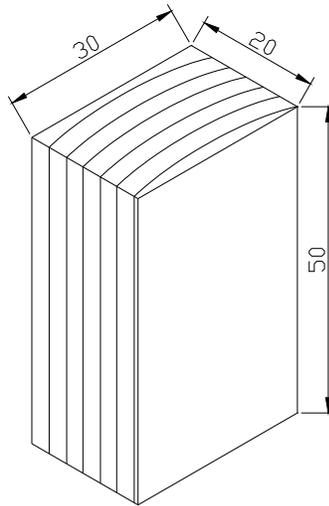


Figura 2. Corpo-de-prova para determinação de umidade, densidade e resistência à compressão paralela às fibras.

Cinco corpos-de-prova foram retirados do material que estava na marcenaria e levados ao Laboratório de Propriedades Mecânicas da madeira, onde foi verificada a massa. Levados a estufa a 103 °C mais ou menos 3 °C, permaneceram até peso constante. Retirados da estufa foi verificado novamente a massa e determinado através da Equação 1 abaixo a umidade de cada corpo de prova.

$$U_{\%} = \frac{P_i - P_f}{P_f} \times 100 \quad (\text{equação 1})$$

Onde "Pi" é a massa inicial, "Pf" é a massa final e U% é a umidade.

3.6. Determinação da massa específica aparente.

A massa específica aparente foi determinada pelo método da imersão no mercúrio. Os mesmos corpos-de-prova que foram usados na determinação da umidade foram utilizados para se verificar a densidade aparente da madeira. Assim sendo, os corpos-de-prova antes de serem acondicionados em estufa tiveram sua massa registrada em balança analítica com precisão de 0,01g o volume determinado através do método da imersão no mercúrio. Os corpos-de-prova foram submersos em recipiente contendo mercúrio sobre balança tarada e observada a massa deslocada. A massa deslocada é utilizada para se determinar o volume do corpo-de-prova, através das Equações 2 e 3 respectivamente abaixo:

$$V = \frac{P_i}{13,6} \quad (\text{equação 2}) \qquad \rho = \frac{M}{V} \quad (\text{equação 3})$$

Onde "V" é o volume dos corpos-de-prova, "Pi" é a massa deslocada e 13,6 é a massa especificado mercúrio; ρ é a massa específica e M é a massa dos corpos-de-prova.

3.7. Determinação da resistência à compressão paralela.

A resistência mecânica foi avaliada através do ensaio de compressão paralela às fibras, sendo executada em máquina de ensaio universal do Laboratório de Propriedades Mecânicas da Madeira. Os corpos-de-prova tinham as mesmas dimensões como descritas na Figura 2. Os corpos-de-prova foram testados com essas dimensões porque a máquina de ensaio universal tem limite

de carga de dez mil quilogramas força. Corpos-de-prova de dimensões maiores não teriam os limites de ruptura verificados.

3.8. Manufatura dos corpos de prova

Foram confeccionados vinte e oito corpos-de-prova de acordo com as dimensões abaixo como nas Figuras 3 e 4.

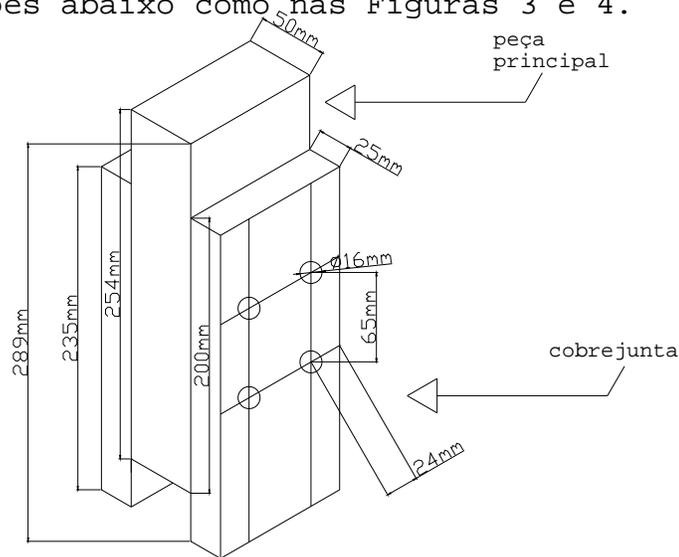


Figura 3: Corpo-de-prova para ligações parafusadas e cavilhadas.

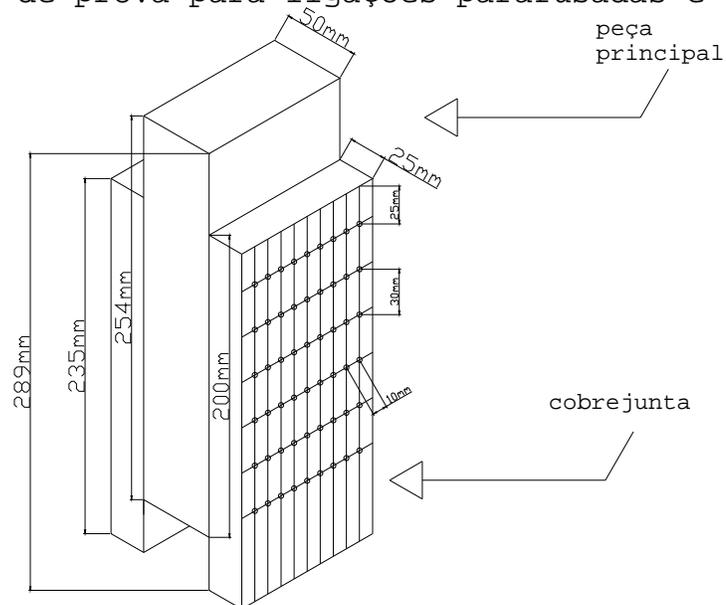


Figura 4. Corpo-de-prova para ligação pregada.

3.8.1. Preparo dos corpos-de-prova cavilhados.

As peças foram furadas com broca de 5/8" (15,58cm) em furadeira vertical. Esse diâmetro de broca foi escolhido para que as cavilhas penetrassem os furos com certa resistência e assim tivessem maior contato com a madeira da ligação. Isto promove maior resistência da ligação. O espaçamento e posição dos furos estão ilustrados na Figura 3. E na Figura 5 há um exemplo de corpo-de-prova cavilhado.

As peças foram levadas à bancada. Através dos furos em cada peça (cobrejunta e peça principal) se buscou o melhor ajuste possível para que os eixos dos furos de cada peça estivessem alinhados. As peças eram colocadas paralelamente no sentido da maior dimensão em contato e então se procedia à colocação das cavilhas com auxílio de um martelo.



Figura 5: Corpo-de-prova de cavilha.

3.8.2. Preparo dos corpos-de-prova parafusados.

Assim como os corpos-de-prova de cavilhas, os corpos-de-prova parafusados tiveram o mesmo procedimento (receberam o mesmo tratamento). Foram furados com a mesma broca (5/8") e na mesma disposição, como na Figura 3. Também se procurou maior contato entre o parafuso e a madeira para promover maior resistência. Na Figura 6 há um exemplo de corpo-de-prova parafusado.

Os parafusos foram introduzidos na madeira do mesmo modo que as cavilhas, com as peças o máximo ajustadas quanto ao eixo dos furos. Após serem introduzidos, foram apertados com porcas e arruelas em contato com a madeira, com auxílio de chaves específicas para as porcas de parafusos de 5/8".



Figura 6: corpo-de-prova parafusado.

3.8.3 Preparo dos corpos-de-prova pregados.

As peças dos corpos-de-prova a serem pregados foram furadas com brocas de $0,98d_{ef}$, onde d_{ef} é o diâmetro efetivo do prego de acordo com a NBR 7190/97. Como nas ligações anteriormente descritas, procurou-se o melhor ajuste entre os eixos dos furos quando do contato entre as cobrejuntas com a peça principal. A disposição e espaçamento dos pregos foram ilustrados na Figura 4.

Os pregos foram introduzidos com auxílio de um martelo. Metade da quantidade (27) em uma das faces e a outra metade na outra face, igualmente distribuídos. Na Figura 7 há um exemplo de corpo-de-prova pregado.



Figura 7: Corpo-de-prova pregado.

3.9. Procedimento do teste das ligações

3.9.1. Determinação da carga limite

Os corpos-de-prova foram conduzidos até o Laboratório de Propriedades Mecânicas da Madeira, sendo 7 corpos-de-prova para cada tipo de ligação. Um dos corpos-de-prova foi escolhido aleatoriamente para determinação da carga limite da ligação.

Para cada tipo de ligação, um corpo-de-prova foi submetido à compressão paralela as fibras. Testado com carregamentos e descarregamentos sucessivos até atingir uma deformação residual de 0,5% de "L₀" que foi ilustrada na Figura 9 e exemplificada na Tabela 1. A leitura da deformação teve precisão de 0,01mm. Os carregamentos foram feitos em ciclos consecutivos, sendo que a cada ciclo a deformação de pico era aumentada em 0,1mm. Da mesma maneira os descarregamentos seguiram um padrão: cada descarregamento era feito até se observar a leitura de carga igual a 0,5 KN. Como mostra a Figura 8.

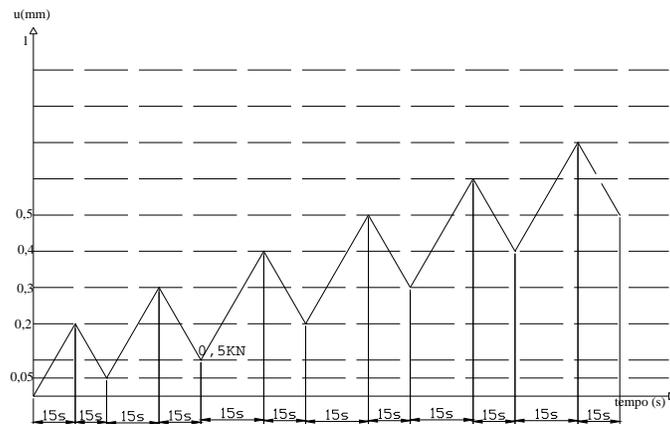


Figura 8: Ciclos de carregamento e descarregamento para determinação da carga limite.

Os carregamentos e descarregamentos foram executados em 15 segundos cada ciclo. A carga observada anteriormente a se atingir a deformação residual de 0,5% de L_0 foi determinada como a carga limite da ligação. L_0 foi ilustrado na Figura 9 abaixo.

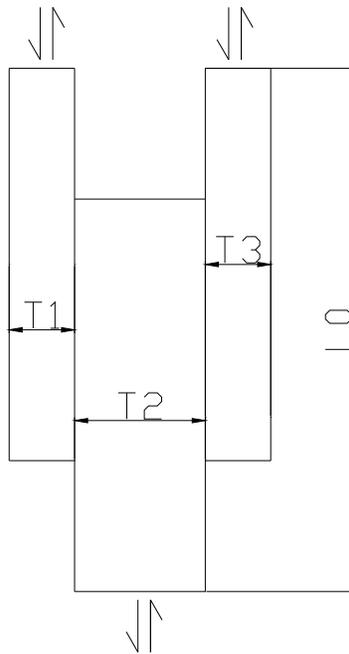


Figura 9: Disposição lateral dos corpos de prova

Tabela 1. Valores de deformação residual.

TIPO DE LIGAÇÃO	DEFORMAÇÃO RESIDUAL (mm)
CAVILHA	1,45
PARAFUSO	1,44
PREGO	1,44

3.9.2. Determinação da resistência da ligação

Determinada a carga limite para cada ligação, os 6 corpos-de-prova foram testados de acordo com o gráfico da figura 10.

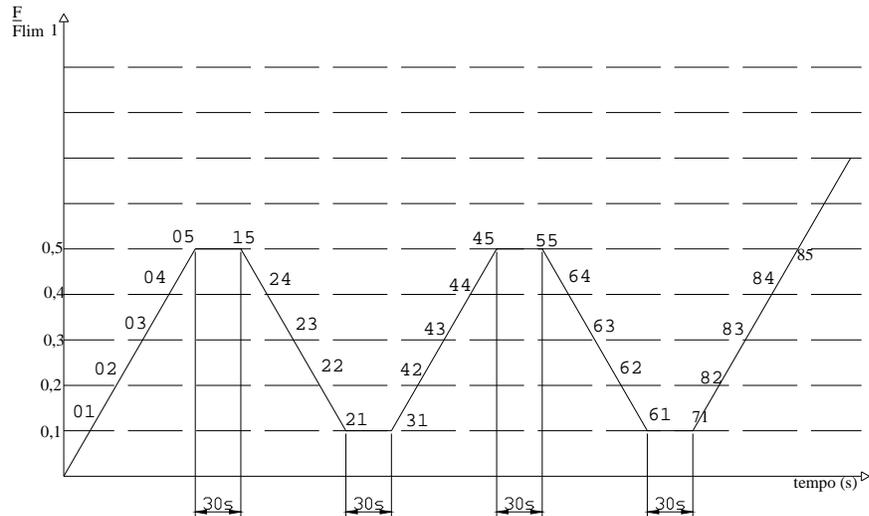


Figura 10: Ciclos de carregamento e descarregamento para determinação da carga resistência de cada corpo-de-prova.

Os corpos-de-prova passaram por dois ciclos de carregamentos e descarregamentos. O corpo-de-prova foi carregado até atingir a metade da carga limite determinada pelo primeiro teste. Então a máquina de ensaio universal parava e permanecia assim por 30 segundos. Após isso, era descarregada até atingir 10% da carga limite, quando então parava por mais 30 segundos novamente. Esse procedimento se repetia mais uma vez e então o corpo-de-prova era carregado até a carga limite. Os dados coletados foram os deslocamentos promovidos a cada acréscimo de 10% da carga limite (vide anexo 1).

Com os dados de resistência foi montado um gráfico como mostra a Figura 11, com valores da força aplicada no eixo das ordenadas, e no eixo das abscissas foram colocados os valores da deformação específica em relação a L_0 , dado pela Equação 4 abaixo:

$$L_0 = 2(7d)+n(a) \text{ (equação 4)}$$

Onde "d" é o diâmetro do elemento de ligação, "n" é número de espaçamentos entre os pinos e "a" é o espaçamento entre os pinos.

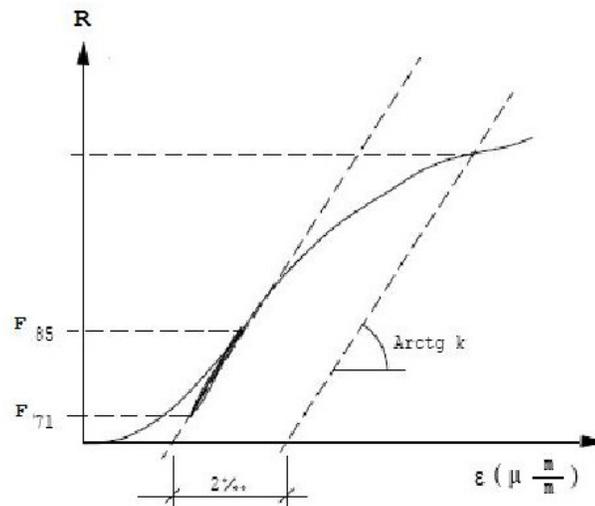


Figura 11: Diagrama de força x deformação específica da ligação.

O gráfico demonstra o procedimento realizado para a determinação da resistência do corpo-de-prova. Os valores obtidos de carga e deformação residual foram utilizados para construir esse gráfico. Então uma reta que passa pelos pontos 71 e 85 do gráfico foi traçada até tocar o eixo das abscissas, onde foi observado um valor de deformação residual. Uma reta paralela a

essa foi traçada a 0,2% do comprimento de L_0 a partir do ponto observado. Ao tocar a linha da equação formada com os pontos do gráfico foi observada a carga correspondente e então determinada a resistência da ligação para o corpo-de-prova.

Logo, para cada tipo de ligação L_0 será diferente. Os valores estão representados na tabela 2.

Tabela 2. Valores de L_0 .

TIPO DE LIGAÇÃO	L_0 (cm)
CAVILHA	28,9
PARAFUSO	28,8
PREGO	19,6

Após o cálculo da resistência de cada corpo-de-prova os valores característicos serão calculados e apresentados de acordo com cada tipo de ligação.

Sendo a Equação 5 para determinação do valor característico:

$$X_{kw} = \left(2 \times \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_{\frac{n}{2}-1}}{\frac{n}{2}-1} - x_{\frac{n}{2}} \right) 1,1 \text{ (equação 5)}$$

Onde "x" são os valores das resistências de cada corpo-de-prova.

Sendo ajustado pela Equação 6 abaixo caso a umidade seja diferente de 12%.

$$R_{12} = R_u \left[1 + \frac{3(U_{\%} - 12)}{100} \right] \quad (\text{equação 6})$$

Onde R_{12} é a resistência da ligação ajustada para a umidade de 12%, R_u é a resistência não ajustada do corpo-de-prova e $U_{\%}$ é a umidade do corpo-de-prova.

3.10. Resistência estimada das ligações

As ligações têm suas resistências estimadas pelo somatório dos números das seções de corte nelas empregados. Para cavilha, a resistência da ligação é dada pela soma das resistências correspondentes às suas diferentes seções de corte. Foram utilizados valores de resistência à compressão paralela ($f_{c0.d}$) e compressão normal ($f_{c90.d}$) da cavilha, a menor das espessuras (t_1 ou $\frac{t_2}{2}$), como mostra a Figura 9, das peças que formam as ligações para a verificar a resistência de uma cavilha. É necessário considerar os valores de β e β_{lim} , calculados pelas Equações 7 e 8 respectivamente:

$$\beta = \frac{t}{d} \quad (\text{equação 7}) \quad \text{e} \quad \beta_{lim} = \sqrt{\frac{f_{c0.d}}{f_{c90.d}}} \quad (\text{equação 8})$$

Onde "d" é o diâmetro da cavilha e "t" é a menor espessura da menor peça quem compõe a interface de ligação.

Sendo $\beta \leq \beta_{lim}$ a resistência da cavilha será ao esmagamento. Caso $\beta > \beta_{lim}$ a resistência da cavilha será à flexão.

De acordo com os dados dos elementos que compõem os corpos-de-prova, tem-se a resistência da cavilha calculada pelas Equações 9 e 10 respectivamente:

$$R_{vd1} = 0,4 \frac{d^2}{\beta_{lim}} f_{c0dcav} \quad (\text{equação 9}) \quad \text{para } \beta \leq \beta_{lim}$$

$$R_{vd1} = 0,4 \frac{t^2}{\beta} f_{c90,d} \quad (\text{equação 10}) \quad \text{para } \beta > \beta_{lim}$$

Para os pregos e parafusos o cálculo de β é igual ao cálculo para cavilhas. Os valores de resistência ao embutimento (f_{ed}) e a resistência ao escoamento do pino metálico (f_{yd}) foram utilizados para o cálculo de β_{lim} , como mostra Equações 7 e 11 abaixo respectivamente:

$$\beta = \frac{t}{d} \quad (\text{equação 7}) \quad \beta_{lim} = 1,25 \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}} \quad (\text{equação 11})$$

Sendo $\beta \leq \beta_{lim}$ a resistência do pino será ao esmagamento. Caso $\beta > \beta_{lim}$ a resistência do pino será à flexão.

Assim sendo temos as Equações 12 e 13 para o cálculo do da resistência ao esmagamento e à flexão para pinos metálicos, respectivamente:

$$R_{vs1} = 0,4 \frac{t^2}{\beta} f_{ed} \quad (\text{equação 12}) \quad \text{para } \beta \leq \beta_{lim}$$

$$R_{vd1} = 0,625 \frac{d^2}{\beta_{lim}} f_{yd} \quad (\text{equação 13}) \quad \text{para } \beta > \beta_{lim}$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Avaliação da umidade e da massa específica

A seguir estão os resultados das avaliações de umidade e massa específica estão apresentados na Tabela 3. A umidade real deve ser utilizada para corrigir o valor final da resistência da ligação.

Tabela 3. Resultados da avaliação física dos corpos-de-prova: umidade e densidade.

amostra	massa (g)	volume (cm ³)	densidade (g/cm ³)	umidade %	massa (g)0%	densidade (g/cm ³)0%
1	14,5	23,48	0,62	13,99	12,72	0,58
2	16,2	23,82	0,68	14,08	14,2	0,64
3	15,2	24,06	0,63	13,86	13,35	0,59
4	16,53	23,77	0,70	14,63	14,42	0,65
5	15,04	23,99	0,63	14,55	13,13	0,58
6	15,37	23,62	0,65	14,02	13,48	0,61
média			0,65	14,19		0,61

Como especificado na NBR 7190 - Projeto de estruturas de Madeira 1997, a umidade da madeira utilizada para a confecção de corpos-de-prova para avaliação da resistência das ligações está de acordo com o especificado, entre 10% e 20%.

De acordo com SERPA et al (2003) a densidade básica do *Eucalyptus grandis* varia de 0,48 a 0,51 g/cm³. Os resultados obtidos foram 0,65 g/cm³ como média da massa específica aparente e 0,61g/cm³ como média para massa específica a 0% de umidade. Esses resultados estão de acordo com a NBR 7190/97.

4.2. Resultado do teste mecânico.

A seguir são apresentados na Tabela 4 os resultados das avaliações da resistência à compressão paralela as fibras (f_{c0}) em cada corpo de prova:

Tabela 4. Resultados do teste de compressão paralela: carga limite e tensão de ruptura.

Amostra	carga(N)	área (mm ²)	f_{c0} (MPa)
1	1820	416,34	43,71
2	1890	413,09	45,75
3	2300	416,74	55,19
4	2190	411,27	53,25
5	2140	474,35	45,12
média			48,60

De acordo com SERPA et al (2003) a resistência à compressão paralela do *Eucalyptus grandis* apresenta valores que variam de 44,9739MPa até 46,1383MPa, para madeira com 12% de umidade.

4.3. Resultados das estimativas das resistências das ligações.

Foram usados valores de $f_{c0,d}$ e $f_{c90,d}$ da madeira de *Eucalyptus grandis*, a dimensão de menor espessura entre t_1 ou $\frac{t_2}{2}$ como na Figura 9 e do diâmetro da cavilha para calcular β e β_{lim} que são valores de comparação para se conhecer que tipo de esforço será exigido do elemento de ligação. Para cavilhas os resultados estão apresentados na Tabela 5, de acordo com o cálculo das Equações 7, 8, 9 e 10. De acordo com o resultado apresentado, verificou-se que as cavilhas serão exigidas quanto a esforços de esmagamento.

Logo, foi utilizada a Equação 9 para estimar a resistência na interface da ligação cavilhada.

Tabela 5. Valores de calculo para verificação do tipo de esforço de uma cavilha.

$f_{c0.d}$ (MPa)	$f_{c90.d}$ (MPa)	t1 (mm)	d (mm)	β	β_{lim}
64,5	15,5	25	16	1,59	3,2

Verificou-se que as cavilhas serão exigidas quanto ao esmagamento como descrito no subitem 3.10. Obtem-se assim o valor de resistência na interface de 25,2MPa para ligações cavilhadas.

Para as ligações pregadas e parafusadas foram usados valores de f_{yd} do aço, f_{ed} da madeira de *Eucalyptus grandis*, a dimensão de menor espessura entre t1 ou $\frac{t_2}{2}$ como na Figura 9 e o diâmetro do parafuso e do prego. As equações usadas são: 7, 11, 12 e 13. Os resultados estão na Tabela 6.

Tabela 6. Valores de calculo para verificação do tipo de esforço de um pino.

Pino	f_{yd} (MPa)	f_{ed} (MPa)	t1 (mm)	d (mm)	β	β_{lim}
Prego	600	49	25	3,4	7,47	4,4
Parafuso	240	49	25	15,58	1,59	2,8

De acordo com a Tabela 6 vemos que o parafuso será exigido quanto ao esmagamento e o prego quanto à flexão como descrito no subitem 3.10. Assim, temos o valor de resistência na interface da ligação parafusada igual a 76,95MPa e da resistência na interface da ligação pregada igual a 9,91MPa.

Com os resultados desses cálculos temos uma expectativa de resistência para cada tipo de ligação, que está mostrada da na Tabela 7:

Tabela 7. Valores estimados para a resistência das diferentes ligações.

Tipo de ligação	Número de pinos	Resistência estimada por interface (MPa)	Número de interface	Expectativa de resistência da ligação (MPa)
Cavilhada	4	25,20	8	201,6
Parafusada	4	79,65	8	615,6
Pregada	54	9,61	54	535,1

O resultado do teste da carga limite apresentou o seguinte resultado, de acordo com a Tabela 8:

Tabela 8: Resistência limite observada no ensaio de compressão paralela das ligações.

Resistência limite da ligação (MPa)		
Cavilhada	Parafusada	Pregada
309	430	209

Esses valores de resistência foram utilizados para os testes de avaliação da resistência de cada corpo-de-prova de acordo com as respectivas ligações.

4.4. Resultados das avaliações das ligações

As Tabelas com os resultados das cargas e deformações de cada corpo-de-prova estão no Anexo 1. Os gráficos gerados por esses resultados para avaliação da carga de cada corpo-de-prova

estão no Anexo 2. De acordo com os gráficos do Anexo 2, a inclinação das linhas formadas pelos pontos dos dados indicam a rigidez das ligações. Linhas mais inclinadas para a posição vertical são as mais rígidas. Mesmo sendo uma ligação, de acordo com as estimativas, menos rígida, a ligação pregada foi a mais rígida de todas por apresentar linhas mais inclinadas para a posição vertical.

Na Tabela 9 estão apresentados os resultados das avaliações das resistências de cada corpo-de-prova de acordo com as respectivas ligações, valores característicos e devidas correções para umidade de 12%.

Tabela 9: Resultados da avaliação de resistência nas ligações cavilhadas, parafusadas e pregadas, valor característico e valor característico ajustado.

TIPO DE LIGAÇÃO	AMOSTRA	RESISTÊNCIA DAS LIGAÇÕES (MPa)	VALOR CARACTERÍSTICO DA LIGAÇÃO (X_{wk}) (MPa)	VALOR CARACTERÍSTICO DA LIGAÇÃO AJUSTADO PARA UMIDADE DE 12% (X_{wk}) (MPa)
Cavilhada	1	333,72	338	360
	2	309,00		
	3	309,00		
	4	312,09		
	5	313,64		
	6	310,55		
Parafusada	1	227,00	224	239
	2	250,00		
	3	229,50		
	4	203,85		
	5	209,00		
	6	209,00		
Pregada	1	430,00	471	502
	2	503,10		
	3	571,90		
	4	425,70		
	5	571,90		

As resistências estimadas das ligações cavilhadas, parafusadas e pregadas foram, respectivamente, de 201 MPa, 637,2Mpa, 535,1Mpa.

As resistências encontradas para as ligações cavilhadas, parafusadas e pregadas foram, respectivamente, de 360MPa, 239 MPa e 502MPa, já devidamente ajustadas para a umidade de 12%.

Como é possível observar, as ligações parafusadas são as que apresentaram menor resistência. Embora os cálculos previssem que seriam as mais resistentes, acredita-se que a razão para esse fato reside no modo como os corpos-de-prova parafusados foram montados. Isto ocorreu porque os furos estavam ligeiramente maiores do que o diâmetro do parafuso, fazendo com que o contato entre os parafusos e a madeira não fosse tão íntimo. A penetração dos parafusos nos corpos-de-prova foi sempre sem resistência. Desse modo, a rigidez diminuiu consideravelmente fazendo com que a resistência da ligação fosse menor em relação ao estimado. Como avaliado, as ligações parafusadas foram exigidas quanto ao esmagamento, porém não tiveram rigidez suficiente para atender as solicitações mecânicas (esmagamento) estimadas.

Quanto às outras ligações, comportaram-se como o esperado: as ligações pregadas sendo as de maior resistência e de menor resistência em relação a estas últimas as cavilhadas.

A maior resistência da ligação à compressão paralela as fibras foi encontrada na confeccionada com pregos, seguida das ligações cavilhadas e por último às ligações parafusadas; embora

a ordem decrescente estimada de resistência das ligações fosse: parafusadas, pregadas e cavilhadas.

As ligações cavilhadas apresentaram resultados superiores ao esperado. Isso pode ser explicado pelo fato de que as cavilhas entraram com bastante resistência na madeira das ligações. Logo, a deformabilidade da ligação foi diminuída por causa do íntimo contato entre a madeira da cavilha e as peças da ligação, tornando-a mais rígida e, por conseguinte mais resistente.

A resistência das ligações pregadas foi solicitada quanto à flexão, como estimado. A colocação dos pregos foi realizada com certa resistência, o que diminuiu os efeitos da esbeltez dos pregos. Mesmo sendo exigido quanto à flexão, esse tipo de ligação apresentou o maior valor de resistência. Ligações que são exigidas quanto à flexão normalmente apresentam resistências inferiores do que as que são exigidas quanto ao esmagamento, haja visto a aplicação das equações que servem para a estimativa das resistências de cada elemento de ligação em cada interface de trabalho..

Os cálculos que estimam a resistência de uma ligação se utilizam da resistência dos elementos de ligação, da resistência ao embutimento da madeira do corpo-de-prova e das dimensões (menor espessura das peças dos corpos-de-prova e diâmetro dos pinos) envolvidas. Mas os testes mecânicos avaliam a rigidez das

ligações, por ensaios de fadiga. A comparação entre β e β_{lim} indica o tipo de solicitação que a ligação sofrerá - esmagamento ou flexão. Ligações que são solicitadas quanto à flexão são mais deformáveis, por conseqüência menos resistentes comparadas com ligações do mesmo tipo.

De acordo com a NBR 7190/97 a resistência ao embutimento da madeira da ligação pode ser igualada a resistência à compressão paralela as fibras para efeito de cálculo.

Esse tipo de teste, padronizado pela NBR 7190/97, baseia-se no fenômeno da fadiga. Outros princípios são usados por outros autores, indicando assim a necessidade de mais testes a serem feitos para termos resultados mais amplos no que diz respeito às metodologias existentes. PFEIL (1985) sugere cálculos para determinar a resistência de trabalho de ligações através de 20% do limite de resistência da ligação.

4.5. Análise estatística dos resultados

Embora a NBR 7190/97 não se utilize de resultados estatísticos para observação e avaliação dos resultados como esse, foi feita uma análise estatística simples e está apresentada na Tabela 10 abaixo:

Tabela 10: Resultados de análise estatística descritiva.

amostra	Ligação		
	pregada Resistência (MPa)	parafusada Resistência (MPa)	cavilhada Resistência (MPa)
1	430,00	227,00	333,72
2	503,10	250,00	309,00
3	571,90	229,50	309,00
4	425,70	203,85	312,09
5	579,10	209,00	313,64
		209,00	310,55
Mínimo	425,70	203,85	309,00
Média	501,96	218,88	313,86
Máximo	579,10	250,00	333,72
DP*	73,89	16,01	8,28
CV(%)**	14,72	7,31	2,64

*Desvio padrão ** Coeficiente de variação

Como ficou evidenciado nesses resultados o maior coeficiente de variação de resistência das ligações das amostras foi da ligação pregada. Embora tenha sido o tipo de ligação com maior valor característico de resistência, mostrou que há menor uniformidade nos dados em relação às amostras das outras ligações.

As ligações cavilhadas apresentaram o menor coeficiente de variação. Isso indica que apresentou dados mais uniformes do que os demais tipos de ligação avaliados.

A menor ou maior variação dos dados pode indicar conjuntos de amostras mais ou menos confiáveis respectivamente. No caso desse trabalho as ligações pregadas não apresentam conjunto de dados menos confiáveis por apresentar a maior variação nos resultados observados; mas sim não tão confiáveis quanto aos resultados apresentados pelas amostras das ligações cavilhadas.

Os dados estatísticos indicam grande variação nas ligações pregadas em relação às ligações cavilhadas, provavelmente por fatores ligados a confecção dos corpos-de-prova. Embora tenham sido confeccionados com o mesmo cuidado, a quantidade de pregos necessários pode ter influenciado. O fato de ter sido utilizado um gabarito para a pré-furação dos corpos-de-prova, não minimizou o suficiente as possíveis variações do espaçamento entre os furos. Isso pode ter implicado na má distribuição dos pregos fosse pelos corpos-de-prova em relação à distribuição das cavilhas em seus respectivos corpos-de-prova. Desse modo a maior variação da resistência das amostras das ligações pregadas em relação às ligações cavilhadas pode ser explicada.

O parâmetro avaliado durante os ensaios foi a rigidez das ligações, para que fosse determinada a resistência das mesmas. Essa diferença de parâmetros, rigidez e resistência, avaliados proporcionou diferenças nos resultados obtidos em relação aos estimados.

5. Conclusões

- A massa específica está de acordo com a da espécie *Eucalyptus grandis*.

- As ligações mais resistentes são as pregadas e as menos resistentes as parafusadas.

- A resistência à compressão paralela da madeira das ligações de fato serviu para os cálculos de estimativa de resistência das ligações. De acordo com NBR 7190/97, admite-se $f_{co}=f_{ed}$ para estimar as resistências das ligações.

- A resistência da ligação foi determinada, de acordo como os testes, pela intimidade de contato entre os elementos de ligação e a madeira das peças de ligação. Quanto maior esse contato, mais resistente foi a ligação.

- A rigidez da ligação serviu para avaliar a resistência da ligação, por tanto a ligação mais rígida (pregada) foi a mais resistente.

Bibliografia

<http://webmail.grad.ufsc.br/~tales/madeiras.htm> - site sobre características da madeira. Acesso 02/03/2006.

ANDRADE, A. A.; CRONEMBERGER. P. de T.; LOURDES; M. **Ligações com pinos metálicos em galpões rurais utilizando toras de carnaúba.** In EBRAMEM, nº 7, 2000, São Carlos.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1997). NBR 7190 - *Projeto de Estruturas de Madeira* - São Paulo.

BAINBRIDGE, R.; METTEM, C.; HARVEY, K.; ANSELL, M. Bonded-in rod connections for timber structures - development design methods and test observations. **International Journal of Adhesions & adhesives 22**, Vancouver, 2002, páginas 47-59.

CAMPOS, J. A. O.; SALES, M. M. A. **Estudo das relações entre a resistência mecânica e a massa específica de madeiras de dicotiledôneas e coníferas.** In: Encontro Brasileiro de Madeira e Estruturas de Madeira, 7, 2000, São Carlos - SP. **Anais** São Carlos - SP, 2000.

CARVALHO, J. S. de; LAHR, F.A.R **Relação entre propriedade resistência e rigidez a madeira quando solicitada à compressão paralela e à compressão normal às fibras.** In: Encontro Brasileiro de Madeira e Estruturas de Madeira, 7, 2000, São Carlos - SP. **Anais** São Carlos - SP, 2000.

SOUZA JUNIOR, D. A.; GESUALDO, F. A. R. **Estudo de arcos laminados de madeira formados por peças verticais interligados por pinos.** In: Encontro Brasileiro de Madeira e Estruturas de Madeira, 7, 2000, São Carlos - SP. **Anais** São Carlos - SP, 2000.

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

MOLITERNO, A. **Caderno de projetos de telhados em estrutura de madeira.** São Paulo, Edgard Blücher, 1981, 3ª reimpressão 1986.

OLIVEIRA, J. T. S, HELLMEISTER, J. C., TOMAZELLO FILHO, M. **Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de**

sete espécies de Eucalipto. Revista *Árvore*. Viçosa - MG, v29, nº1, 2005.

PFEIL, WALTER. **Estruturas de madeira.** Rio de Janeiro: LTC - Livro Técnico e Científico Editora S. A . 1985, 295 p.

SERPA, P. N., VITAL, B. R., DELLA LUCIA, R. M. et al. **Evaluation of some properties of *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* and *Pinus elliottii*.** Rev. *Árvore*, Sept./Oct. 2003, vol.27, no.5, p.723-733. ISSN 0100-6762.

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

TEIXEIRA, M. G. **Aplicação de conceitos de Ecologia Industrial para produção de materiais ecológicos: O exemplo da indústria de madeira.** 2005. 159f. Dissertação (Gerenciamento e tecnologias ambientais no processo produtivo). Dptº de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2005.

Anexo 1. Resultados do ensaio do gráfico da figura 7.
Cavilhas

Ponto	CP1		CP2		CP3	
	carga	deslocamento	carga	deslocamento	carga	deslocamento
	Kgf	mm	Kgf	mm	Kgf	mm
(1)1	309	0,62	309	0,56	309	0,58
(2)2	618	0,84	618	0,81	618	0,89
(3)3	927	1,05	927	1,06	927	1,22
(4)4	1236	1,25	1236	1,29	1236	1,57
(5)5	1545	1,45	1545	1,53	1545	1,89
(15)6	1545	1,45	1545	1,53	1545	1,89
(24)7	1236	1,30	1236	1,36	1236	1,73
(23)8	927	1,20	927	1,24	927	1,68
(22)9	618	1,07	618	1,10	618	1,47
(21)10	309	0,89	309	0,87	309	1,25
(31)11	309	0,89	309	0,87	309	1,25
(42)12	618	1,10	618	1,11	618	1,45
(43)13	927	1,22	927	1,27	927	1,62
(44)14	1236	1,35	1236	1,42	1236	1,77
(45)15	1545	1,48	1545	1,57	1545	1,95
(55)16	1545	1,48	1545	1,57	1545	1,95
(64)17	1236	1,30	1236	1,38	1236	1,78
(63)18	927	1,21	927	1,28	927	1,66
(62)19	618	1,10	618	1,14	618	1,51
(61)20	309	0,89	309	0,95	309	1,32
(71)21	309	0,89	309	0,95	309	1,32
(82)22	618	1,11	618	1,16	618	1,47
(83)23	927	1,25	927	1,32	927	1,65
(84)24	1236	1,37	1236	1,46	1236	1,82
(85)25	1545	1,50	1545	1,6	1545	1,99
(86)26	1854	1,66	1854	1,76	1854	2,20
(87)27	2163	1,84	2163	2,02	2163	2,50
(88)28	2472	2,09	2472	2,34	2472	2,83
(89)29	2781	2,36	2781	2,65	2781	3,23
(90)30	3090	2,67	3090	3,03	3090	3,74

Os dados entre parênteses na primeira coluna indicam a ordem do gráfico da Figura 10. Os números fora dos parênteses representam os dados observados à medida que cada corpo-de-prova foi testado

Cavilha

Ponto	CP4		CP5		CP6	
	carga	deslocamento	carga	deslocamento	carga	deslocamento
	Kgf	mm	Kgf	mm	Kgf	mm
(1)1	309	0,78	309	0,86	309	0,78
(2)2	618	1,06	618	1,18	618	1,11
(3)3	927	1,3	927	1,45	927	1,4
(4)4	1236	1,55	1236	1,73	1236	1,7
(5)5	1545	1,79	1545	1,96	1545	1,98
(15)6	1545	1,79	1545	1,96	1545	1,98
(24)7	1236	1,6	1236	1,8	1236	1,81
(23)8	927	1,48	927	1,67	927	1,68
(22)9	618	1,32	618	1,49	618	1,52
(21)10	309	1,11	309	1,3	309	1,25
(31)11	309	1,11	309	1,3	309	1,25
(42)12	618	1,34	618	1,49	618	1,51
(43)13	927	1,5	927	1,66	927	1,67
(44)14	1236	1,87	1236	1,83	1236	1,86
(45)15	1545	1,82	1545	2	1545	2,02
(55)16	1545	1,82	1545	2	1545	2,02
(64)17	1236	1,64	1236	1,81	1236	1,84
(63)18	927	1,51	927	1,69	927	1,72
(62)19	618	1,35	618	1,52	618	1,55
(61)20	309	1,12	309	1,25	309	1,28
(71)21	309	1,12	309	1,25	309	1,28
(82)22	618	1,37	618	1,53	618	1,55
(83)23	927	1,54	927	1,7	927	1,72
(84)24	1236	1,69	1236	1,87	1236	1,89
(85)25	1545	1,84	1545	1,98	1545	2,05
(86)26	1854	2,01	1854	2,2	1854	2,23
(87)27	2163	2,25	2163	2,44	2163	2,49
(88)28	2472	2,53	2472	2,73	2472	2,79
(89)29	2781	2,86	2781	3,03	2781	3,12
(90)30	3090	3,29	3090	3,4	3090	3,54

Parafuso

Ponto	CP1		CP2		CP3	
	carga	deslocamento	carga	deslocamento	carga	deslocamento
	Kgf	mm	Kgf	mm	Kgf	mm
(1)1	209	0,38	209	0,29	209	0,60
(2)2	418	0,62	418	0,38	418	1,00
(3)3	627	0,90	627	0,62	627	1,3
(4)4	836	1,20	836	0,91	836	1,57
(5)5	1045	1,47	1045	1,15	1045	1,80
(15)6	1045	1,47	1045	1,15	1045	1,80
(24)7	836	1,36	836	1,13	836	1,67
(23)8	627	1,30	627	0,93	627	1,60
(22)9	418	1,25	418	0,92	418	1,55
(21)10	209	1,20	209	0,87	209	1,49
(31)11	209	1,20	209	0,87	209	1,49
(42)12	418	1,38	418	1,03	418	1,67
(43)13	627	1,42	627	1,08	627	1,71
(44)14	836	1,47	836	1,14	836	1,78
(45)15	1045	1,54	1045	1,22	1045	1,85
(55)16	1045	1,54	1045	1,22	1045	1,85
(64)17	836	1,41	836	1,09	836	1,76
(63)18	627	1,32	627	1,05	627	1,68
(62)19	418	1,31	418	1,00	418	1,61
(61)20	209	1,24	209	0,95	209	1,52
(71)21	209	1,24	209	0,95	209	1,52
(82)22	418	1,38	418	1,08	418	1,68
(83)23	627	1,44	627	1,12	627	1,75
(84)24	836	1,49	836	1,17	836	1,81
(85)25	1045	1,56	1045	1,27	1045	1,88
(86)26	1254	1,66	1254	1,36	1254	1,96
(87)27	1463	1,9	1463	1,55	1463	2,19
(88)28	1672	2,13	1672	1,72	1672	2,40
(89)29	1881	2,3	1881	1,92	1881	2,60
(90)30	2090	2,48	2090	2,06	2090	2,69

Parafuso

Ponto	CP4		CP5		CP6	
	carga	deslocamento	carga	deslocamento	carga	deslocamento
	Kgf	mm	Kgf	mm	Kgf	mm
(1)1	209	1,08	209	0,57	209	0,49
(2)2	418	1,27	418	0,7	418	0,6
(3)3	627	1,59	627	1,11	627	0,7
(4)4	836	1,78	836	1,42	836	1
(5)5	1045	2,09	1045	1,66	1045	1,27
(15)6	1045	2,09	1045	1,66	1045	1,27
(24)7	836	1,96	836	1,53	836	1,18
(23)8	627	1,9	627	1,48	627	1,17
(22)9	418	1,82	418	1,42	418	1,12
(21)10	209	1,72	209	1,36	209	1,04
(31)11	209	1,72	209	1,36	209	1,04
(42)12	418	1,9	418	1,54	418	1,2
(43)13	627	2,04	627	1,59	627	1,26
(44)14	836	2,08	836	1,64	836	1,3
(45)15	1045	2,11	1045	1,78	1045	1,36
(55)16	1045	2,11	1045	1,78	1045	1,36
(64)17	836	1,92	836	1,62	836	1,22
(63)18	627	1,92	627	1,57	627	1,2
(62)19	418	1,85	418	1,53	418	1,14
(61)20	209	1,76	209	1,45	209	1,06
(71)21	209	1,76	209	1,45	209	1,06
(82)22	418	1,85	418	1,6	418	1,22
(83)23	627	2,01	627	1,66	627	1,27
(84)24	836	2,07	836	1,71	836	1,33
(85)25	1045	2,14	1045	1,76	1045	1,38
(86)26	1254	2,26	1254	1,8	1254	1,6
(87)27	1463	2,42	1463	2,1	1463	1,82
(88)28	1672	2,62	1672	2,29	1672	2,02
(89)29	1881	2,84	1881	2,46	1881	2,2
(90)30	2090	2,89	2090	2,61	2090	2,36

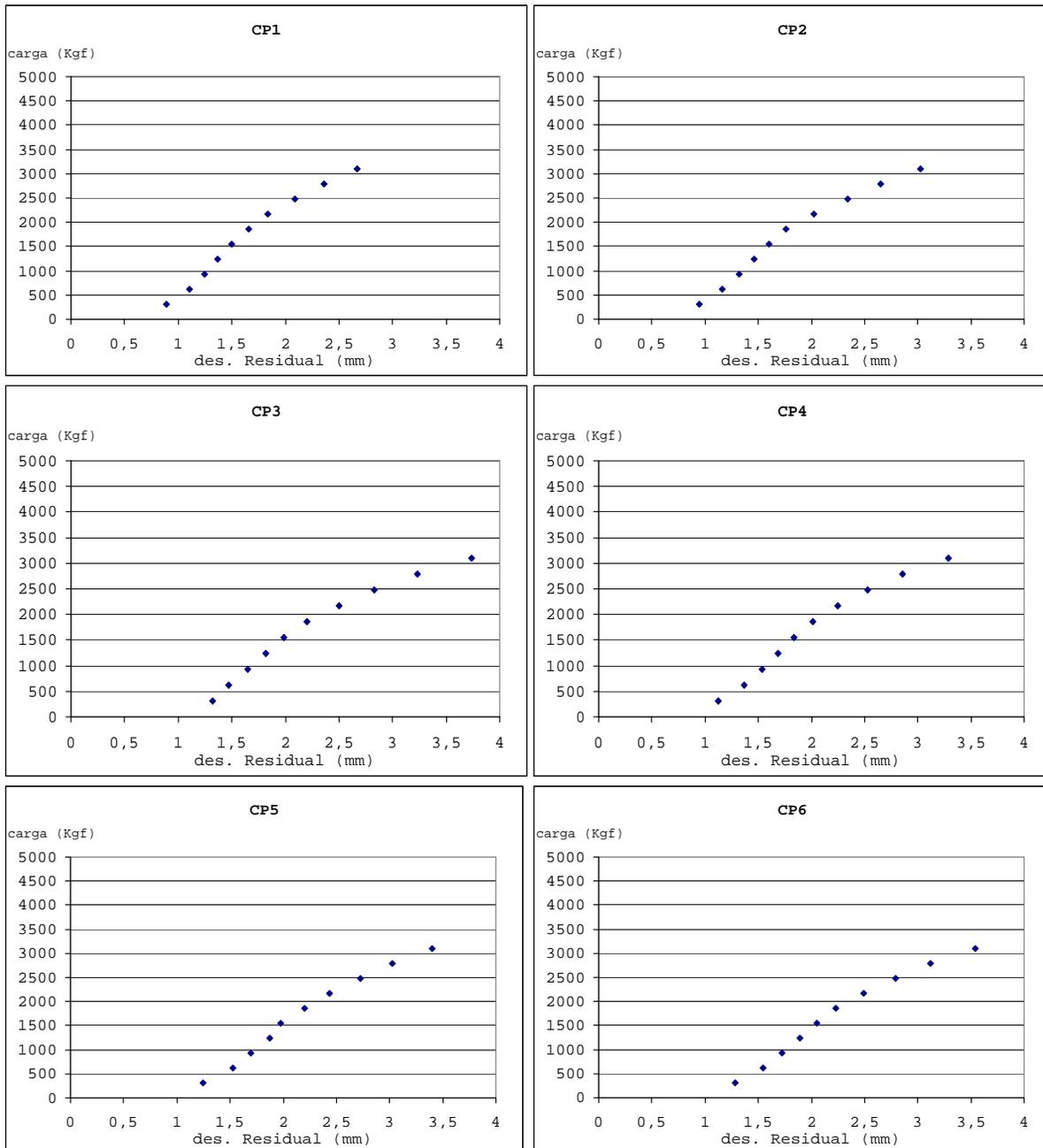
Prego

Ponto	CP1		CP2		CP3	
	carga	deslocamento	carga	deslocamento	carga	deslocamento
	Kgf	mm	Kgf	mm		
(1)1	430	0,68	430	0,65	430	0,69
(2)2	860	0,93	860	0,85	860	0,87
(3)3	1290	1,14	1290	1,02	1290	1,04
(4)4	1720	1,60	1720	1,20	1720	1,20
(5)5	2150	1,54	2150	1,36	2150	1,35
(15)6	2150	1,54	2150	1,36	2150	1,35
(24)7	1720	1,37	1720	1,19	1720	1,17
(23)8	1290	1,27	1290	1,10	1290	1,08
(22)9	860	1,14	860	1,00	860	0,98
(21)10	430	1,01	430	0,84	430	0,85
(31)11	430	1,01	430	0,84	430	0,85
(42)12	860	1,16	860	1,04	860	1,06
(43)13	1290	1,30	1290	1,16	1290	1,16
(44)14	1720	1,46	1720	1,28	1720	1,27
(45)15	2150	1,59	2150	1,39	2150	1,38
(55)16	2150	1,59	2150	1,39	2150	1,38
(64)17	1720	1,40	1720	1,21	1720	1,18
(63)18	1290	1,30	1290	1,11	1290	1,10
(62)19	860	1,17	860	1,00	860	0,99
(61)20	430	0,98	430	0,87	430	0,87
(71)21	430	0,98	430	0,87	430	0,87
(82)22	860	1,19	860	1,07	860	1,08
(83)23	1290	1,35	1290	1,19	1290	1,18
(84)24	1720	1,49	1720	1,30	1720	1,29
(85)25	2150	1,61	2150	1,41	2150	1,39
(86)26	2580	1,78	2580	1,56	2580	1,52
(87)27	3010	2,00	3010	1,75	3010	1,68
(88)28	3440	2,28	3440	1,97	3440	1,88
(89)29	3870	2,60	3870	2,20	3870	2,09
(90)30	4300	2,97	4300	2,47	4300	2,32

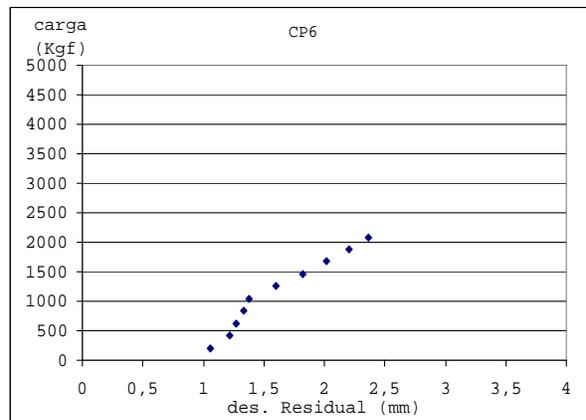
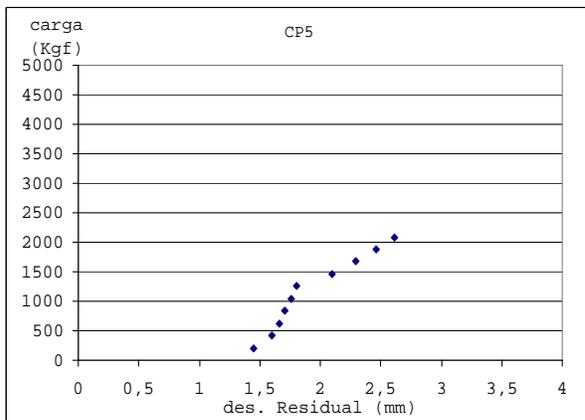
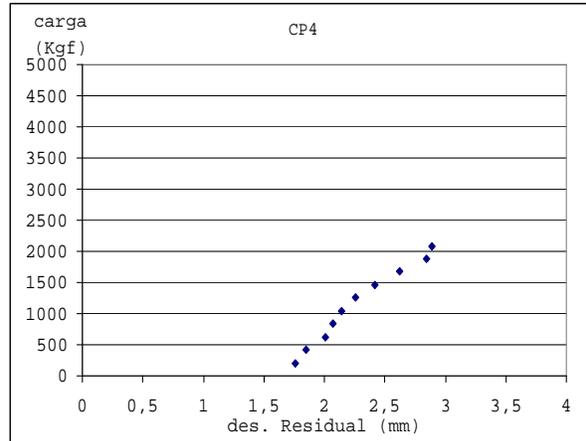
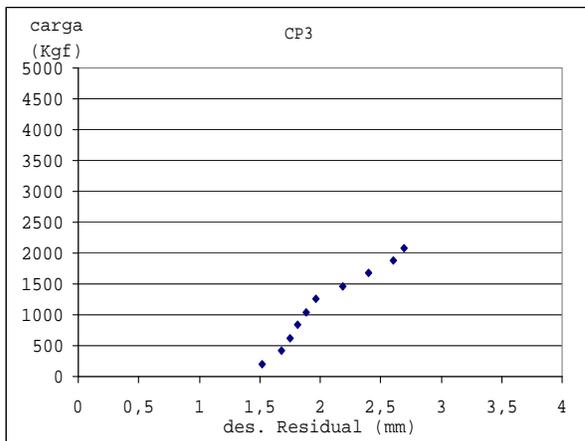
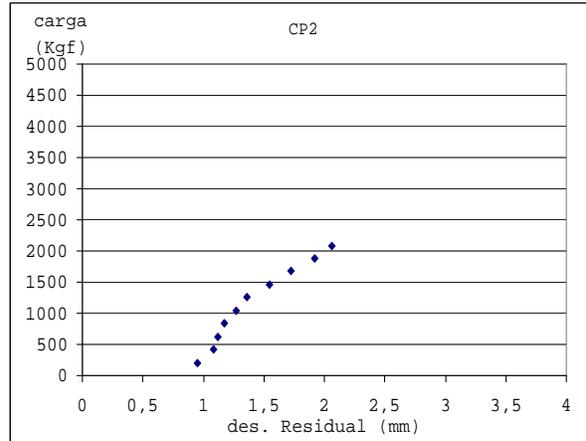
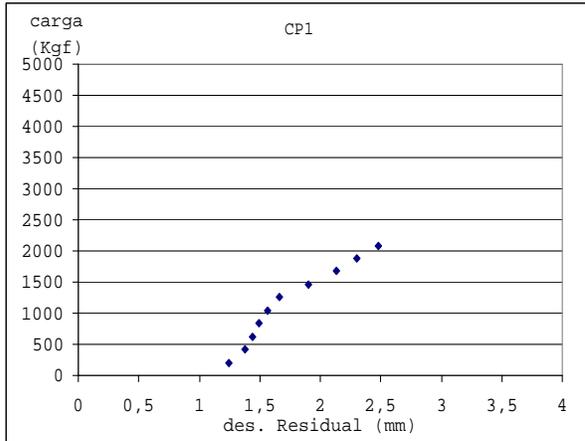
Prego

Ponto	CP4		CP5	
	carga	deslocamento	carga	deslocamento
	Kgf	mm	Kgf	mm
(1)1	430	0,42	430	0,51
(2)2	860	0,61	860	0,72
(3)3	1290	0,79	1290	0,88
(4)4	1720	0,97	1720	1,02
(5)5	2150	1,14	2150	1,13
(15)6	2150	1,14	2150	1,13
(24)7	1720	0,97	1720	0,95
(23)8	1290	0,88	1290	0,87
(22)9	860	0,77	860	0,78
(21)10	430	0,64	430	0,71
(31)11	430	0,64	430	0,71
(42)12	860	0,84	860	0,86
(43)13	1290	0,93	1290	0,95
(44)14	1720	1,05	1720	1,05
(45)15	2150	1,17	2150	1,15
(55)16	2150	1,17	2150	1,15
(64)17	1720	0,99	1720	0,97
(63)18	1290	0,88	1290	0,88
(62)19	860	0,79	860	0,79
(61)20	430	0,74	430	0,76
(71)21	430	0,74	430	0,76
(82)22	860	0,85	860	0,87
(83)23	1290	0,96	1290	0,96
(84)24	1720	1,07	1720	1,07
(85)25	2150	1,19	2150	1,16
(86)26	2580	1,33	2580	1,28
(87)27	3010	1,53	3010	1,4
(88)28	3440	1,78	3440	1,57
(89)29	3870	2,05	3870	1,74
(90)30	4300	2,36	4300	1,91

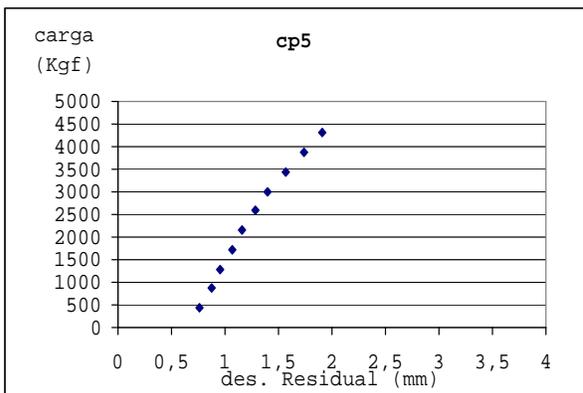
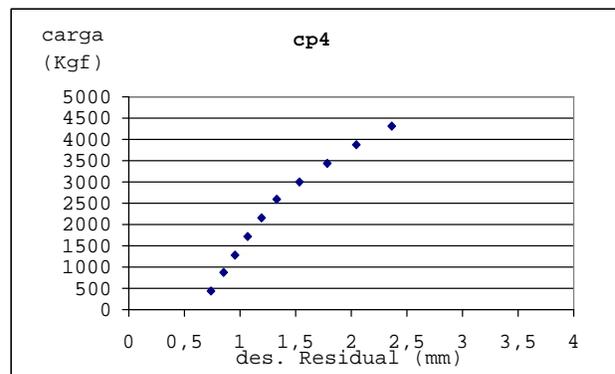
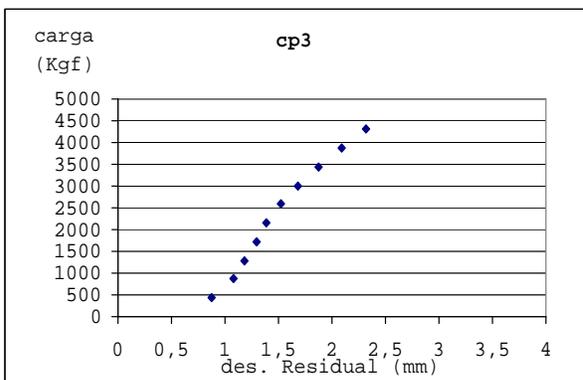
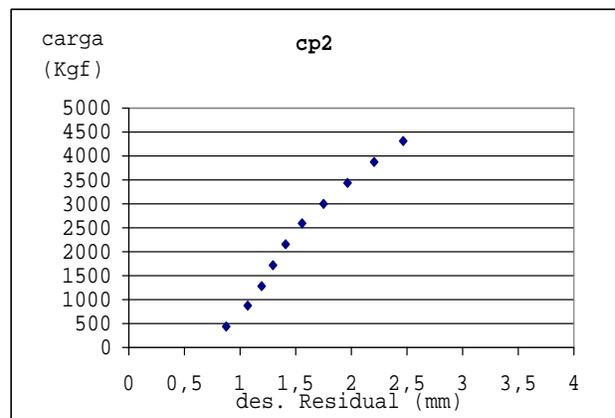
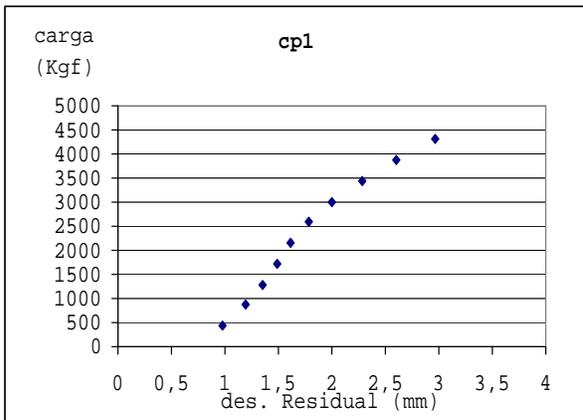
Anexo 2: Gráficos das tabelas de carga e deslocamento.
Ligações cavilhadas



Ligações parafusadas



Ligações pregadas



This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.