

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

GABRIELA KARINA MORAIS DE MELLO

**SOFTWARE EDUCACIONAL PARA DIMENSIONAMENTO DE
LIGAÇÕES EM MADEIRA POR PINOS METÁLICOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO
2017

GABRIELA KARINA MORAIS DE MELLO

**SOFTWARE EDUCACIONAL PARA DIMENSIONAMENTO DE
LIGAÇÕES EM MADEIRA POR PINOS METÁLICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior em Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Luís Nunes de Góes

Co-orientador: Prof. Dr. Lucio Geronimo Valentin

CAMPO MOURÃO
2017



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Construção Civil
Coordenação de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso

SOFTWARE EDUCACIONAL PARA O DIMENSIONAMENTO DE LIGAÇÕES EM MADEIRA POR PINOS METÁLICOS

por
Gabriela Karina Morais de Mello

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 9h00min do dia 7 de dezembro de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Marcelo Rodrigo Carreira

(UTFPR)

Prof. Dr. Leandro Waidemam

(UTFPR)

Prof. Dr. Lucio Geronimo Valentin

(UTFPR)

Co-orientador

Prof. Dr. Jorge Luís Nunes de Góes

(UTFPR)

Orientador

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

Prof. Dr. Ronaldo Rigobello

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

À minha mãe Cassia.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por sempre estar comigo, me dando forças e perseverança nos momentos difíceis, e abençoando e guiando meu caminho.

Agradeço imensamente a minha mãe, Cassia, que acreditou e realizou esse sonho comigo. Sem seu amor, carinho e apoio durante toda minha vida, eu não teria chegado e conquistado tudo que conquistei. Todas as comemorações, broncas, conselhos e longas conversas no telefone, fizeram com que eu amadurecesse e me tornasse uma pessoa melhor nesse percurso, tenho muito orgulho de você e a amo incondicionalmente! Ao meu irmão, João Victor, por sempre me ouvir e ser a parte calma que não existe em mim, amo você urso!

Ao meu padrasto, Fernando, por acreditar e ajudar a fazer esse sonho possível, mostrando que pai não precisa ser de sangue, mas sim de coração, amo você, “papito”!

Ao meu orientador e grande amigo Jorge Goés, agradeço primeiramente por acreditar em mim e me conceder a oportunidade de participar do grupo PET, essa confiança direcionou e impulsionou minha jornada na graduação. Agradeço também por todos os conselhos, “puxões de orelha” e ensinamentos que me fizeram crescer pessoalmente e profissionalmente, além da paciência e atenção no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Centro Acadêmico de Engenharia Civil, e a todos que participaram desta família a qual tive a honra de ter em minha vida, agradeço por toda a confiança e credibilidade que me concederam desde o início, ensinando-me por todo o tempo que participei. Para sempre me lembrarei das reuniões, trabalhos realizados, brincadeiras e calouradas!

Ao grupo PET, por me acolher e se tornar uma nova família durante a graduação, todos que passaram ou permanecem me ensinaram e incentivaram a ser melhor, sempre! As reuniões, churrascos, viagens, ensinamentos e atividades, jamais serão esquecidas.

Aos meus amigos, Mariana, Marina, Matheus, Gustavo, Natalia Pereira, Natalia Garcia, Yohan, Cristiano, Leonardo e Ludmila, obrigada por sempre estarem comigo e fazerem o difícil se tornar fácil. Agradeço pelas risadas, festas, jantares, companheirismo, abraços, conversas, filmes, tardes sentados na grama, noites viradas estudando ou dias juntos sem fazer nada. Vocês fizeram esta ser a melhor fase da minha vida!

Por fim, agradeço a todos que passaram e tocaram minha vida. Todos que passam, nos deixam algum ensinamento mesmo que sem intenção.

RESUMO

MELLO, Gabriela K. M. **Software educacional para dimensionamento de ligações em madeira por pinos metálicos**. 2017. 101 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2017.

As ligações são conhecidas como regiões críticas nas estruturas devido à sua função de transmitir os esforços solicitantes entre os elementos unidos. Por conta de sua importância no comportamento global da estrutura, as ligações devem ser dimensionadas e executadas de forma precisa, garantindo a segurança da estrutura. Quando realizado manualmente, os cálculos para o dimensionamento são extensos, porém, com o avanço da informática é possível desenvolver softwares que auxiliam nessa tarefa. Atualmente, a norma brasileira de projeto de estruturas de madeira ABNT NBR 7190 (1997) se encontra em revisão e um dos pontos alterados será o dimensionamento de ligações por pinos metálicos. Com a finalidade de auxiliar os acadêmicos e profissionais da área de construção civil, no aprendizado do novo modelo de cálculo, foi elaborado um software de dimensionamento de ligações por pinos metálicos que abrange as ligações com pregos e parafusos passantes com porca e arruela. O programa se chama TCD (Timber Connections Design) – Versão 2.0.

Palavras chave: Ligações em madeira; Software; Pinos metálicos; TCD; Estruturas de madeira.

ABSTRACT

MELLO, Gabriela K. M. **Educational software for timber connections design with metal pins.** 2017. 101 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2017.

The connections are known as critical structural regions due to their function of transmitting internal forces between the connected elements. Because of their importance in the global behavior of the structure, the connection's design and execution must be done precisely to assure the structure's safety. When manually done, the design calculations are quite extensive and complex, but with the computing advance, it is possible to develop softwares capable of making that task easier. Currently, the Brazilian code for timber structures design ABNT NBR 7190 (1997) is being revisited, and one of its recently altered subjects was the design of connections with metal pins. In order to help the academics and the professionals of construction in learning this new design procedure, a software was created for design the connections with metal pins, which includes connections with nails and bolts. The software is called TCD (Timber Connections Design) – Version 2.0.

Keywords: Timber connections; Software; Metal pins; TCD; Timber structures.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Ligações por entalhe - (a) montante, banzo inferior e diagonal de treliça de cobertura; (b) banzo superior e inferior de treliça de cobertura..... | 20 |
| Figura 2 - Tipos de ligações coladas - (a) juntas coladas de topo; (b) stepped; (c) bisel; (d) entalhes múltiplos | 21 |
| Figura 3 - Ligação do tipo cavilha..... | 22 |
| Figura 4 - Ligações com anéis metálicos | 23 |
| Figura 5 – Ligação com chapa de dente estampado..... | 24 |
| Figura 6 – Tipos de parafuso auto-atarraxante; (a) cabeça chata; (b) cabeça arredondada; (c) cabeça sextavada | 27 |
| Figura 7 - (a) Comportamento para as peças de madeira; (b) Comportamento para os pinos metálicos..... | 30 |
| Figura 8 – Ligação com tração normal às fibras..... | 32 |
| Figura 9 - Espaçamentos em ligações com pinos | 41 |
| Figura 10- Ligação de elementos de madeira com parafusos passantes com porca e arruelas em (a) corte simples e (b) corte duplo | 44 |
| Figura 11 – Situação de corte simples com prego com comprimento suficiente para ser considerado resistente | 45 |
| Figura 12 - Situação de corte duplo com prego com comprimento suficiente para ser considerado resistente | 45 |
| Figura 13 - Configurações de ligações de elementos de madeira e aço com parafusos passantes..... | 50 |
| Figura 14 - Configurações de ligações de elementos de madeira e aço com pregos em corte simples | 51 |
| Figura 15 - Configurações de ligações de elementos de madeira e aço com parafusos de rosca soberba em corte simples..... | 51 |
| Figura 16 - Modos de falha para determinação da força característica de ligações com pinos metálicos e chapas de aço | 54 |
| Figura 18 – Dependência das classes | 58 |
| Figura 19 - Primeira escolha do usuário..... | 59 |
| Figura 20 – Segunda escolha do usuário..... | 60 |
| Figura 21 – Fluxograma para ligações entre elementos de madeira por parafusos.. | 61 |
| Figura 22 - Fluxograma para ligações entre elementos de madeira por pregos | 62 |
| Figura 23 - Fluxograma para ligações entre elementos de madeira e aço por parafusos | 63 |
| Figura 24 – Tela de apresentação do software | 67 |
| Figura 25 – Tela inicial do software..... | 67 |
| Figura 26 – Tela de apresentação sem caixa de seleção | 68 |
| Figura 27 – Tela de ajuda do software | 69 |
| Figura 28 – Tela de roteiros do software..... | 69 |
| Figura 29 – Aba “Início” | 70 |
| Figura 30 – Aba “Modelos de Ligação” | 71 |
| Figura 31 – Aba “Elementos da Ligação” | 72 |

| | |
|---|-----|
| Figura 32 – Aba “Conectores” | 73 |
| Figura 33 – Aba “Resultados” | 74 |
| Figura 34 – Aba “Relatório” | 74 |
| Figura 35 – Ícone para imprimir o relatório | 75 |
| Figura 36 – Ícone para realizar novo cálculo | 75 |
| Figura 37 – Ícone para retornar à tela inicial | 75 |
| Figura 38 – Barra de status | 75 |
| Figura 39 – Elemento com cor vermelha ao constatado inconsistência | 75 |
| Figura 40 - Relatório TCD para uma seção de corte considerando o efeito de corda | 101 |
| Figura 41 - Relatório TCD para uma seção de corte desconsiderando o efeito de corda | 102 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1: Conversão de JP para milímetros | 25 |
| Quadro 2: Conversão de BWG para milímetros | 25 |
| Quadro 3 – Tipos de Pregos | 26 |
| Quadro 4 – Resistências mínimas de escoamento e ruptura | 27 |
| Quadro 5 – Dimensões dos parafusos | 28 |
| Quadro 6 – Dimensões das arruelas a partir da DIN 440 R | 28 |
| Quadro 7 – Dimensões das arruelas a partir da DIN 440V | 29 |
| Quadro 8 – Dimensões das arruelas a partir da DIN 436..... | 29 |
| Quadro 9 – Dimensões das arruelas a partir da DIN 125 A (1990) | 29 |
| Quadro 10 - Classes de carregamento e valores de K_{mod1} | 34 |
| Quadro 11 - Exemplos de classes de carregamento..... | 34 |
| Quadro 12 – Características dos pinos metálicos | 39 |
| Quadro 13 – Espaçamentos mínimos para ligações com pinos metálicos..... | 40 |
| Quadro 14 – Diâmetros de pré-furação para ligações com pinos metálicos | 42 |
| Quadro 15 - Modos de falha e equações para ligações de elementos de madeira com pinos metálicos (corte simples) | 46 |
| Quadro 16 - Modos de falha e equações para ligações de elementos de madeira com pinos metálicos (duas seções de corte) | 47 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Valores de $K_{\text{mod}2}$ | 35 |
| Tabela 2 - Valores de $K_{\text{mod}3}$ para coníferas | 35 |
| Tabela 3 - Valores de $K_{\text{mod}3}$ para folhosas..... | 36 |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 15 |
| 2 OBJETIVOS | 17 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL..... | 17 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 17 |
| 3 JUSTIFICATIVA | 18 |
| 4 REFERENCIAL TEÓRICO | 19 |
| 4.1 LIGAÇÕES EM MADEIRA | 19 |
| 4.1.1 Ligações por entalhes..... | 20 |
| 4.1.2 Ligações coladas | 20 |
| 4.1.3 Ligações por justaposição | 21 |
| 4.2 COMPORTAMENTO MECÂNICO DAS LIGAÇÕES POR PINOS METÁLICOS..... | 30 |
| 4.3 DIMENSIONAMENTO DE LIGAÇÕES EM MADEIRA POR PINOS METÁLICOS SEGUNDO REVISÃO DA ABNT NBR 7190 (1997) | 31 |
| 4.3.1 Critério de dimensionamento..... | 33 |
| 4.3.2 Momento resistente do pino metálico | 37 |
| 4.3.3 Ligações excêntricas | 37 |
| 4.3.4 Efeito de grupo para ligações com pinos..... | 37 |
| 4.3.5 Ligações com múltiplas seções de corte | 38 |
| 4.3.6 Características dos pinos metálicos..... | 38 |
| 4.3.7 Espaçamentos..... | 40 |
| 4.3.8 Pré-furação..... | 42 |
| 4.3.9 Resistência característica de ligações de elementos de madeira com pinos metálicos | 43 |
| 4.3.10 Resistência característica de ligações de elementos de madeira e aço com pinos metálicos..... | 48 |
| 4.4 LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO UTILIZADA..... | 57 |
| 5 MATERIAIS E MÉTODOS | 58 |
| 5.1 LÓGICA DE PROGRAMAÇÃO | 58 |
| 5.2 CRIAÇÃO DE CLASSES VIEW | 64 |
| 5.3 CRIAÇÃO DE CLASSES MODEL | 64 |
| 5.4 CRIAÇÃO DE CLASSES CONTROLLER | 64 |
| 5.5 LIMITAÇÕES DO SOFTWARE | 65 |
| 5.6 TESTES PARA VALIDAÇÃO..... | 65 |
| 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 66 |
| 6.1 SOFTWARE TCD – TIMBER CONNECTIONS DESIGN..... | 66 |

| | |
|---|-----------|
| 6.2 EXEMPLOS PARA VALIDAÇÃO DO SOFTWARE | 76 |
| 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 77 |
| REFERÊNCIAS | 78 |
| APÊNDICE A – Modelo de Roteiro de dimensionamento de ligações em madeira | 81 |
| APÊNDICE B – Manual de uso do software..... | 88 |
| APÊNDICE C – Relação de normas utilizadas | 90 |
| APÊNDICE D – Limitações do software | 91 |
| APÊNDICE E – Exemplo de utilização do software..... | 92 |

1 INTRODUÇÃO

A madeira é um material reciclável e renovável com excelentes propriedades mecânicas e que pode ser encontrada em abundância. Suas propriedades e comportamento são levados em consideração nos cálculos estruturais através de valores cada vez mais precisos devido a estudos frequentes sobre o assunto.

No mercado, pode-se encontrar peças de madeira serrada, roliça ou madeira laminada colada, que podem ser utilizadas nos mais variados elementos estruturais. No caso de peças de madeira serrada ou roliça, suas dimensões são limitadas pelo tamanho das árvores das quais são provenientes. Portanto, quando a distância a ser superada é maior que este tamanho, as peças são unidas através de ligações diretas ou com uso de elementos externos.

Segundo Porteous e Kermani (2007), as ligações são pontos críticos de uma estrutura uma vez que a quantidade de conectores e suas características influenciam nas dimensões das peças de madeira. Geralmente, a resistência da ligação é o que determina a resistência da estrutura. Portanto, seu cálculo e execução devem ser precisos de forma a garantir a resistência, segurança e durabilidade da mesma. As ligações mais utilizadas no Brasil, são as realizadas por pinos metálicos, devido a seu baixo custo e facilidade de aplicação.

No dimensionamento estrutural, todas as ações devem ser previstas a fim de que a estrutura as suporte. Para isso, o engenheiro estrutural baseia-se nos documentos normativos do país ou região em que está inserido.

A norma nacional que contempla o dimensionamento de ligações em madeira assim como os demais documentos normativos, se baseia na Teoria de Johansen. No desenvolvimento de sua teoria, Johansen (1949) admitiu comportamento perfeito plástico para os pinos metálicos e elementos de madeira da ligação. Através de ensaios constatou que as falhas nas ligações ocorriam em modos de falha característicos, assim foram desenvolvidas equações que representassem cada modo de falha distinto. Estes modos de falha combinam o efeito do embutimento da madeira e flexão dos pinos metálicos. Mais tarde as equações criadas por Johansen foram complementadas e reformuladas, servindo de referência para as atuais normas. A ABNT NBR 7190 (1997) não considera o cálculo entre elementos de madeira com diferentes resistências ao embutimento e direções das fibras além de não diferenciar

equações para uma ou duas seções de corte. Já a norma europeia CEN EUROCODE 5 (2004), é mais abrangente e atende a diversos modelos de ruptura.

Com o crescente avanço tecnológico e tendência cada vez maior em se utilizar a informática como ferramenta auxiliadora nas mais diversas atividades, a tarefa de dimensionar ligações pode ser facilitada com o desenvolvimento de um programa que realize os cálculos extensos e complexos. Os softwares, além de propiciarem vantagens aos profissionais, apresentam vantagens como ferramenta didática. A proximidade que os alunos possuem com a informática viabiliza a maior compreensão e aprendizado dos conteúdos teóricos. Juca (2006) destaca que novas tecnologias, como o uso de softwares, quando usadas corretamente na educação, tornam o processo de aprendizado mais estimulante e eficaz.

Considerando que a norma brasileira está em fase de revisão e na busca por desenvolver uma metodologia mais abrangente, que apresente valores teóricos mais próximos dos experimentais, além da inexistência de um software brasileiro que realize o dimensionamento dos tipos de ligação propostos neste trabalho foi desenvolvido um programa que segue o modelo de cálculo da revisão da ABNT NBR 7190 (1997). O programa aprimora o trabalho desenvolvido por Schwanz (2014) e o expande. O modelo utilizado baseia-se na metodologia de cálculo do documento normativo europeu, porém adaptado às condições nacionais de espécies e coeficientes já utilizados pela norma brasileira anterior. Os tipos de ligação que são abrangidos no programa são as ligações entre elementos de madeira unidos por pregos ou parafuso passante com porca e arruela e entre elementos de madeira e chapa de aço unidas por parafusos passantes com porca e arruela.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um software educacional para o dimensionamento de ligações entre elementos de madeira ou elementos de madeira e chapa de aço por pinos metálicos, com base no método de cálculo da revisão da norma ABNT NBR 7190 (1997).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Compreender os fenômenos que regem a resistência de ligações em madeira por pinos metálicos;
- Apresentar o modelo de cálculo da revisão da norma ABNT NBR 7190 (1997);
- Desenvolver um código computacional que realize o dimensionamento de ligações entre elementos de madeira ou entre madeira e chapa de aço por pinos metálicos, de acordo com o novo modelo proposto;
- Validar os resultados obtidos através do programa comparando-os com exemplos teóricos;
- Elaborar um guia de uso do software e roteiros explicativos sobre a metodologia utilizada, particularidades e limitações.

3 JUSTIFICATIVA

As ligações são conhecidas como regiões críticas das estruturas devido à sua função de transmitir os esforços solicitantes entre os elementos unidos. Por conta dessa importante função, seu dimensionamento deve ser preciso de forma a garantir a segurança e durabilidade da estrutura. Além de segurança e durabilidade, um projeto deve ser atrativo economicamente, devido a isso é necessária atenção para que o superdimensionamento não ocorra.

O item relativo às ligações na ABNT NBR 7190 (1997) apesar de derivado da Teoria de Johansen, assim como na norma europeia, apresenta simplificações que fazem com que o dimensionamento resulte em ligações, por vezes, antieconômicas. Ao disponibilizar as mesmas equações para o dimensionamento de uma ou mais seções de corte e não contemplar o cálculo entre elementos com diferentes resistências ao embutimento ou direção das fibras, a norma brasileira faz com que a quantidade e bitola dos pinos obtidos através de sua metodologia de cálculo sejam mais elevados que o necessário.

Estudos como os realizados por Leutner (2013) e Maia (2016), concluíram que o método de cálculo para ligações apresentado na ABNT NBR 7190 (1997) possui inconsistências significativas e que há métodos mais eficientes, como o apresentado pelo CEN EUROCODE 5 (2004). Com o objetivo de aperfeiçoar alguns modelos de dimensionamento, atualmente, a ABNT NBR 7190 (1997) se encontra em revisão. O modelo de dimensionamento de ligações proposto em sua revisão se baseia no CEN EUROCODE 5 (2004), porém, adaptando-o ao cenário nacional de espécies e coeficientes. Desta forma, será mais abrangente e apresentará resultados teóricos mais próximos dos experimentais.

Percebendo a tendência cada vez maior do uso da informática a favor da educação, além do melhor desempenho apresentado pelo modelo de cálculo para ligações em madeira por pinos metálicos da revisão da norma ABNT NBR 7190 (1997), a inexistência de um software brasileiro que realize o dimensionamento desses tipos de ligações através desta metodologia, além da possibilidade de expandir e aprimorar o trabalho desenvolvido por Schwanz (2014), apresenta-se a oportunidade e viabilidade de desenvolvimento de um programa com tais características.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 LIGAÇÕES EM MADEIRA

A madeira tem sido utilizada pela humanidade para construção há séculos. Segundo Pfeil e Pfeil (2003), devido a sua grande disponibilidade na natureza e facilidade de manuseio, a madeira é um dos materiais mais antigos da construção civil. Apesar de antigo, seu uso em países como o Brasil, ficou estagnado por certo tempo, voltando a crescer nos últimos anos. Segundo Schober e Tannert (2016), a madeira tem ganhado cada vez mais espaço e importância por ser um material de construção civil renovável. Maia (2016), disserta que é comum nas estruturas em geral, inclusive as de madeira, executá-las reticuladas de forma a exigirem ligações entre seus membros.

Mendes (1994), apresenta que as ligações são partes vulneráveis de uma estrutura de madeira devido a estarem sujeitas à tensões e esforços localizados, exigindo deste modo atenção especial a fim de não colocar em risco a estabilidade global da mesma. A resistência da estrutura é, na maioria dos casos, definida pela resistência da ligação e sua rigidez, uma vez que a última influencia diretamente nos deslocamentos.

As ligações podem ser classificadas devido a vários aspectos. Para Calil Neto (2014), as ligações podem ser classificadas quanto ao fator temporal (clássicas e modernas) ou quanto a tecnologia empregada (por entalhes, por justaposição e coladas). Quanto à classificação pela tecnologia empregada, Schober e Tannert (2016), argumentam que as ligações por entalhes representam o tipo mais tradicional de ligação. As ligações por justaposição, que são as que recorrem ao uso de objetos diversos para assegurar a junção de seus elementos, propicia um método rápido de montagem e união dos elementos da ligação. Já as ligações coladas são um eficiente e durável método desde que sejam projetadas e especificadas corretamente, executadas de forma adequada e que apresentem controle de qualidade (Broughton and Hutchinson, 2001 apud Schober e Tannert, 2016, p. 2).

4.1.1 Ligações por entalhes

São aquelas nas quais a ligação é realizada através do encaixe entre os elementos de madeira após realizado entalhes nos mesmos. Segundo Mendes (1994), quando começaram a ser utilizadas, as ligações por entalhes não tinham função de suportar a esforços significativos e sim de atuar como travamentos estruturais.

Calil Junior, Lahr e Dias (2003), dissertam que estes tipos de ligações devem ser utilizados apenas para transmissão de esforços de compressão uma vez que os esforços são transmitidos pelo contato entre os elementos, e que no caso de inversão de esforços, deve ser prevista uma forma de transmissão da tração, como o uso de elementos metálicos.

O cisalhamento, neste tipo de ligação, geralmente se dá na região do entalhe com os elementos metálicos. A ligação por entalhe é muito empregada em treliças de cobertura, utilizadas em vários países. A Figura 1 mostra este tipo de ligação.



Figura 1 - Ligações por entalhe - (a) montante, banzo inferior e diagonal de treliça de cobertura; (b) banzo superior e inferior de treliça de cobertura

Fonte: ArtBois SA (2000?).

4.1.2 Ligações coladas

Segundo Calil Neto (2014), as ligações coladas apesar de tão antigas quanto as por entalhe, não eram muito utilizadas no passado. Calil Junior, Lahr e Dias (2003),

definem estas ligações como aquelas realizadas por meio de uma fina camada de adesivo disposta entre os elementos de madeira de modo a proporcionar sua aderência.

De acordo com Pfeil e Pfeil (2003), nas indústrias de madeira laminada colada, este tipo de ligação é amplamente utilizado, pois tem-se o controle de quesitos como dosagem de adesivo, umidade da madeira, temperatura e pressão, necessários para obter uma correta aderência entre os elementos, e que são difíceis de controlar em campo. A ABNT NBR 7190 (1997) delimita o uso de ligações coladas para juntas longitudinais da MLC, com uso da cola obedecendo prescrições técnicas comprovadamente satisfatórias. A Figura 2 apresenta exemplos de ligações coladas.

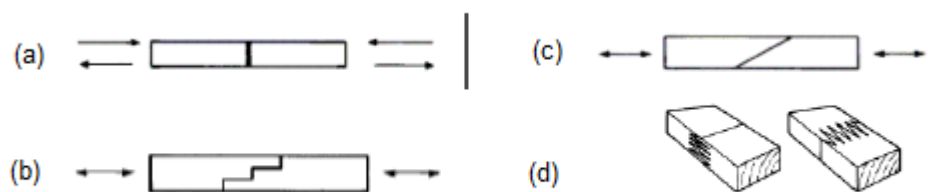


Figura 2 - Tipos de ligações coladas - (a) juntas coladas de topo; (b) stepped; (c) bisel; (d) entalhes múltiplos

Fonte: Rosa (2008).

4.1.3 Ligações por justaposição

De acordo com Calil Junior, Lahr e Dias (2003), os principais dispositivos utilizados nas ligações por justaposição são os pinos metálicos, cavilhas e conectores metálicos. Segundo os mesmos autores, como a madeira pode apresentar problemas de fendilhamento, devem ser obedecidos os espaçamentos e pré-furações, determinados pela norma vigente para cada tipo de dispositivo. A ABNT NBR 7190 (1997) define pinos metálicos como os pregos e parafusos, cavilhas como pinos de madeira torneados e os conectores como sendo as chapas de dente estampado e anéis metálicos.

4.1.3.1 Ligações por cavilhas

Pfeil e Pfeil (2003), definem cavilha como sendo pinos circulares confeccionados em madeira dura, e que são cravados em furos nas peças de madeira. A ABNT NBR 7190 (1997) especifica que as cavilhas devem ser confeccionadas com madeiras densas da classe D60, ou pouco densas ($\rho_{\text{aparente}} \leq 600 \text{ kg/m}^3$), utilizando em conjunto resinas que aumentem sua resistência. Restringe ainda, para sua utilização em sistemas estruturais, diâmetros de 16 mm, 18 mm e 20 mm, devendo-se realizar pré-furação com diâmetro igual ao da cavilha.

Calil Junior, Lahr e Dias (2003), dizem que as cavilhas possuem um funcionamento semelhante ao dos pinos metálicos quanto à transmissão dos esforços, entretanto, possuem a vantagem de poderem ser utilizadas em ambientes agressivos aos mesmos. A Figura 3 é um exemplo desse tipo de ligação.

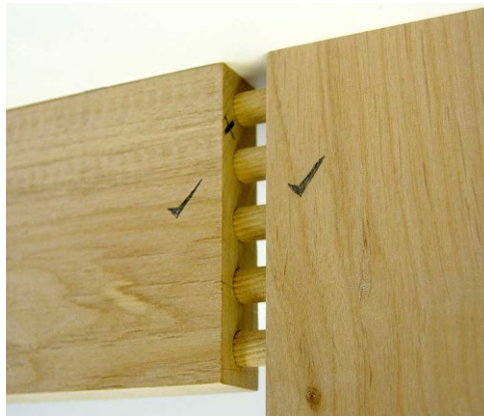


Figura 3 - Ligação do tipo cavilha
Fonte: Wood Second Chance (2010).

4.1.3.2 Ligações por conectores

De acordo com Pfeil e Pfeil (2003), anéis metálicos são conectores metálicos em forma de anel inseridos na interface da madeira através de entalhes, e mantidos

na posição através de parafusos. Calil Júnior, Lahr e Dias (2003), defendem que este tipo de ligação é capaz de suportar uma maior capacidade de carga, e que a transmissão dos esforços da ligação provoca compressão entre a madeira e o anel, além do cisalhamento do disco de madeira interno.

A ABNT NBR 7190 (1997) reconhece o emprego destes conectores em estruturas se possuírem diâmetros internos de 64 mm e 102 mm, acompanhados de parafusos de 12 mm e 19 mm respectivamente, no centro do anel, além de considerar a ligação como rígida. A Figura 4 mostra exemplos de ligações com anel metálico.



Figura 4 - Ligações com anéis metálicos

Fonte: Dias (2013).

Maia (2016) apresenta em seu trabalho que chapas de dente estampado são chapas de aço que possuem dentes na posição perpendicular ao plano da chapa, e que são cravados nas peças de madeira. Conforme Pfeil e Pfeil (2003), geralmente estas chapas são utilizadas em treliças pré-fabricadas.

Segundo Calil Júnior, Lahr e Dias (2003), o uso das chapas com dentes estampados favorece a industrialização da construção e é mais interessante em madeiras de baixa densidade, uma vez que a cravação dos dentes nas peças, a qual deve ser realizada por prensas, é melhor executada. A ABNT NBR 7190 (1997) permite o uso desse tipo de ligação em estruturas somente se a eficiência da cravação for garantida pelo executor. Já a resistência das chapas, deve ser garantida pelo

fabricante. A Figura 5 apresenta exemplos de ligações com chapas de dentes estampados.

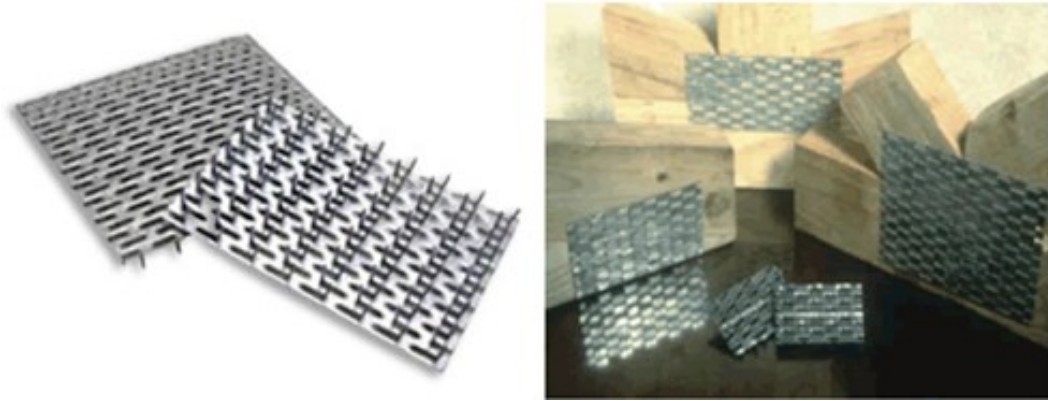


Figura 5 – Ligação com chapa de dente estampado

Fonte: Dias (2013).

4.1.3.3 Ligações por pinos metálicos

É o tipo de ligação mais utilizado devido ao seu baixo custo e a não exigência de uma execução altamente especializada. A ABNT NBR 7190 (1997), reconhece como ligações com pinos metálicos, aquelas realizadas por pregos ou parafusos.

Pfeil e Pfeil (2003), dissertam que os pregos são produzidos com arame de aço com baixo teor de carbono e apresentam diferentes formas, adequadas para cada uso. A geometria dos pregos é indicada por dois números: o primeiro representa o diâmetro do prego, e o segundo indica seu comprimento. Estes valores são dados em duas unidades de medida não muito habituais. O primeiro número é indicado em JP (Jauge de Paris) e o segundo em LPP (Linhas de Polegadas Portuguesas). A conversão da unidade Jauge de Paris para milímetros está indicada no Quadro 1 e a conversão de Linhas de Polegadas Portuguesas para milímetros pode ser obtida multiplicando-se o valor indicado por 2,30 mm (GERDAU, 2017).

| | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| JP | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| mm | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,8 | 2,0 | 2,2 | 2,4 |
| | | | | | | | | | | | | |
| JP | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | |
| mm | 2,7 | 3,0 | 3,4 | 3,9 | 4,4 | 4,9 | 5,4 | 5,9 | 6,4 | 7,0 | 7,6 | |

Quadro 1: Conversão de JP para milímetros

Fonte: Gerdau (2017).










Além disso, no Brasil os pregos também podem ser vendidos em Pol x BWG, que significam polegadas inglesas e Birmingham Wire Gauge, respectivamente. A conversão de polegadas inglesas para milímetro se dá multiplicando o valor indicado por 25,4 mm, já a conversão de BWG é apresentada no Quadro 2.

| | | | | | | | | | | | | |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| BWG | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 |
| mm | 0,89 | 1,07 | 1,24 | 1,47 | 1,65 | 1,83 | 2,11 | 2,41 | 2,77 | 3,05 | 3,40 | 3,76 |
| | | | | | | | | | | | | |
| BWG | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | | | | |
| mm | 4,19 | 4,57 | 5,16 | 5,59 | 6,05 | 6,58 | 7,21 | 7,62 | | | | |

Quadro 2: Conversão de BWG para milímetros

Fonte: Gerdau (2017).

Os tipos de prego encontrados no mercado podem ser verificados no Quadro 3.

| Tipo de Prego | Ilustração |
|----------------------------|--|
| Prego com cabeça |  |
| Prego sem cabeça |  |
| Prego Ardox |  |
| Prego Telheiro Galvanizado |  |
| Prego com Cabeça Dupla |  |
| Prego Anelado |  |
| Prego Galvanizado |  |
| Prego Quadrado |  |
| Prego para Taco |  |

Quadro 3 – Tipos de Prego

Fonte: Adaptado Gerdau (2017).

Os parafusos se diferenciam entre si pela forma da rosca, podendo ser total ou parcialmente roscado, pela forma da haste, cabeça e acionamento. Pfeil e Pfeil (2003) definem que parafusos são basicamente de dois tipos: rosqueados auto-atarraxantes e mais utilizados na marcenaria, ou passantes com porcas e arruelas que são utilizados em ligações estruturais. Segundo Porteous e Kermani (2007), os parafusos auto-atarraxantes são utilizados quando se necessita de resistência mais elevada que os pregos proporcionam, e apresentam maior facilidade de remoção. Devem ser instalados sempre rosqueados, e assim como os pregos, precisam de pré-furação. Os tipos mais encontrados são mostrados na Figura 6.

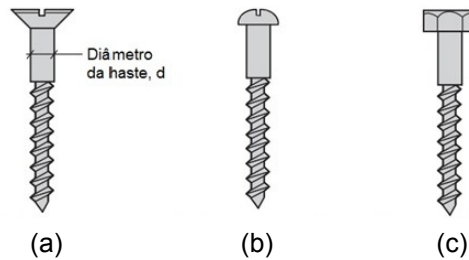


Figura 6 – Tipos de parafuso auto-atarraxante; (a) cabeça chata; (b) cabeça arredondada; (c) cabeça sextavada

Fonte: Adaptado Porteous e Kermani (2007).

Segundo Pfeil e Pfeil (2003) os parafusos com porcas e arruelas, normalmente são estruturais e apresentam formato cilíndrico, uma extremidade com cabeça, outra com rosca e porca, além de usar-se arruelas para diminuir a pressão de apoio. Há vários tipos de parafuso encontrados no mercado, entretanto, a norma ABNT NBR 8800 (2008) indica as normas internacionais que cada tipo de parafuso deve atender. A norma EN ISO 4016 (2000) determina a geometria dos parafusos, enquanto que a norma EN ISO 898-1 (1999) define as características do aço empregado no parafuso.

Os valores mínimos de resistência ao escoamento e da resistência à ruptura, de acordo com as normas, são apresentados no Quadro 4. Os tipos de parafuso especificados pela norma EN ISO 4016 (2000), são indicados no Quadro 5.

| Especificação | f_y | f_u | Diâmetro d | |
|------------------------|-------|-------|---------------------|---|
| | MPa | MPa | mm | Pol |
| ASTM A307 | - | 415 | - | $\frac{1}{2} \leq d \leq 4$ |
| ISO 4016 Classe 4.6 | 235 | 400 | $12 \leq d \leq 36$ | - |
| ASTM A325 ^a | 635 | 825 | $16 \leq d \leq 24$ | $\frac{1}{2} \leq d \leq 1$ |
| | 560 | 725 | $24 \leq d \leq 36$ | $1 \leq d \leq 1 \frac{1}{2}$ |
| ISO 4016 Classe 8.8 | 640 | 800 | $12 \leq d \leq 36$ | - |
| ASTM A490 | 895 | 1035 | $16 \leq d \leq 36$ | $\frac{1}{2} \leq d \leq 1 \frac{1}{2}$ |
| ISO 4016 Classe 10.9 | 900 | 1000 | $12 \leq d \leq 36$ | - |

^a Disponíveis também com resistência à corrosão atmosférica comparável à dos aços AR 350 COR ou à dos aços ASTM A588.

Quadro 4 – Resistências mínimas de escoamento e ruptura

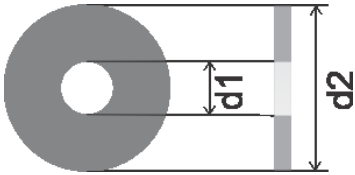
Fonte: ABNT NBR 8800 (2008).

| Tipo de Parafuso | d (mm) | Área do parafuso (mm ²) |
|------------------|--------|-------------------------------------|
| M10 | 10,0 | 58,0 |
| M12 | 12,0 | 84,3 |
| M16 | 16,0 | 157,0 |
| M20 | 20,0 | 240,0 |
| M22 | 22,0 | 303,0 |
| M24 | 24,0 | 353,0 |
| M27 | 27,0 | 459,0 |
| M30 | 30,0 | 561,0 |
| M33 | 33,0 | 694,0 |
| M36 | 36,0 | 817,0 |

Quadro 5 – Dimensões dos parafusos

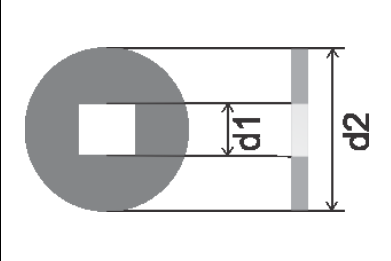
Fonte: EN ISO 4016 (2000).

A norma que regulamenta a geometria das arruelas utilizadas para estruturas de madeira é a DIN 440 (2001). Sendo a DIN 440R responsável por arruelas redondas com furo central redondo, DIN 440V por arruelas redondas com furo central quadrado e a DIN 436 (1990) para as arruelas quadradas. A arruelas e suas dimensões são apresentadas nos Quadros 6, 7 e 8.

|  | Tipos de Arruelas | d1 (mm) | d2 (mm) | Espessura (mm) |
|---|-------------------|---------|---------|----------------|
| | M10 | 11,0 | 34,0 | 3,0 |
| M12 | 13,5 | 44,0 | 4,0 | |
| M16 | 17,5 | 56,0 | 5,0 | |
| M20 | 22,0 | 72,0 | 5,0 | |
| M22 | 24,0 | 80,0 | 6,0 | |
| M24 | 26,0 | 85,0 | 6,0 | |
| M27 | 30,0 | 98,0 | 6,0 | |
| M30 | 33,0 | 105,0 | 6,0 | |
| M33 | 36,0 | 112,0 | 6,0 | |
| M36 | 39,0 | 125,0 | 6,0 | |

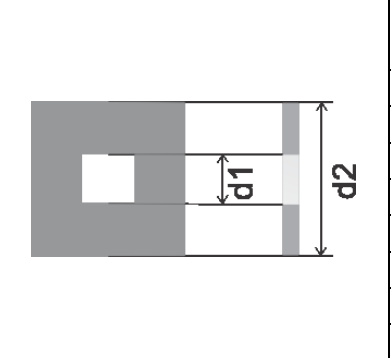
Quadro 6 – Dimensões das arruelas a partir da DIN 440 R

Fonte: Adaptado Schwanz (2014).

|  | Tipos de Arruelas | d1 (mm) | d2 (mm) | Espessura (mm) |
|---|-------------------|---------|---------|----------------|
| | M10 | 11,0 | 34,0 | 3,0 |
| | M12 | 13,5 | 44,0 | 4,0 |
| | M16 | 17,5 | 56,0 | 5,0 |
| | M20 | 22,0 | 72,0 | 5,0 |
| | M22 | 24,0 | 80,0 | 6,0 |

Quadro 7 – Dimensões das arruelas a partir da DIN 440V

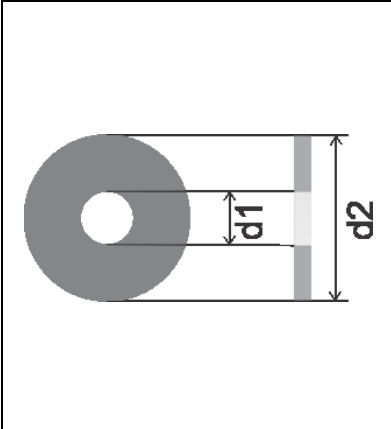
Fonte: Adaptado Schwanz (2014).

|  | Tipos de Arruelas | d1 (mm) | d2 (mm) | Espessura (mm) |
|--|-------------------|---------|---------|----------------|
| | M10 | 11,0 | 30,0 | 3,0 |
| | M12 | 13,5 | 40,0 | 4,0 |
| | M16 | 17,5 | 50,0 | 5,0 |
| | M20 | 22,0 | 60,0 | 5,0 |
| | M22 | 24,0 | 70,0 | 6,0 |
| | M24 | 26,0 | 80,0 | 6,0 |
| | M27 | 30,0 | 90,0 | 6,0 |
| | M30 | 33,0 | 95,0 | 6,0 |

Quadro 8 – Dimensões das arruelas a partir da DIN 436

Fonte: Adaptado Schwanz (2014).

Em ligações entre elementos de madeira e chapas de aço, com corte duplo, e elemento de madeira situado entre as chapas de aço, há a necessidade de se considerar uma arruela especial para este caso. A norma que regulamenta esse tipo de arruela é a DIN 125 (1990). O Quadro 9 apresenta a geometria desta arruela.

|  | Tipos de Arruelas | d1 (mm) | d2 (mm) | Espessura (mm) |
|---|-------------------|---------|---------|----------------|
| | M10 | 10,5 | 21,0 | 2,0 |
| | M12 | 13,0 | 24,0 | 2,5 |
| | M16 | 17,0 | 30,0 | 3,0 |
| | M20 | 21,0 | 37,0 | 3,0 |
| | M22 | 23,0 | 39,0 | 3,0 |
| | M24 | 25,0 | 44,0 | 4,0 |
| | M27 | 28,0 | 50,0 | 4,0 |
| | M30 | 31,0 | 56,0 | 4,0 |
| | M33 | 34,0 | 60,0 | 5,0 |
| | M36 | 37,0 | 66,0 | 5,0 |

Quadro 9 – Dimensões das arruelas a partir da DIN 125 A (1990)

Fonte: Autoria própria (2017).

4.2 COMPORTAMENTO MECÂNICO DAS LIGAÇÕES POR PINOS METÁLICOS

A teoria desenvolvida por Johansen em 1949 é o trabalho de maior destaque na área de ligações com pinos metálicos (pregos, parafusos passantes ou parafusos auto-atarraxantes). O modelo proposto por ele sofreu posteriores melhorias e deu origem ao que hoje é conhecido por EYM (European Yield Model), presente em várias normas, como a europeia CEN EUROCODE 5 (2004) e a brasileira ABNT NBR 7190 (1997).

Johansen (1949, apud Johnsson 2004) descreve a interação entre o pino metálico e as peças de madeira, fazendo considerações como adotar comportamento mecânico totalmente plástico, tanto da madeira, quanto do aço, conforme ilustra a Figura 7. Adotando isso e fazendo uso de equilíbrio de forças e momentos, formulou-se os modelos de falha básicos para a resistência de ligações por pinos metálicos.

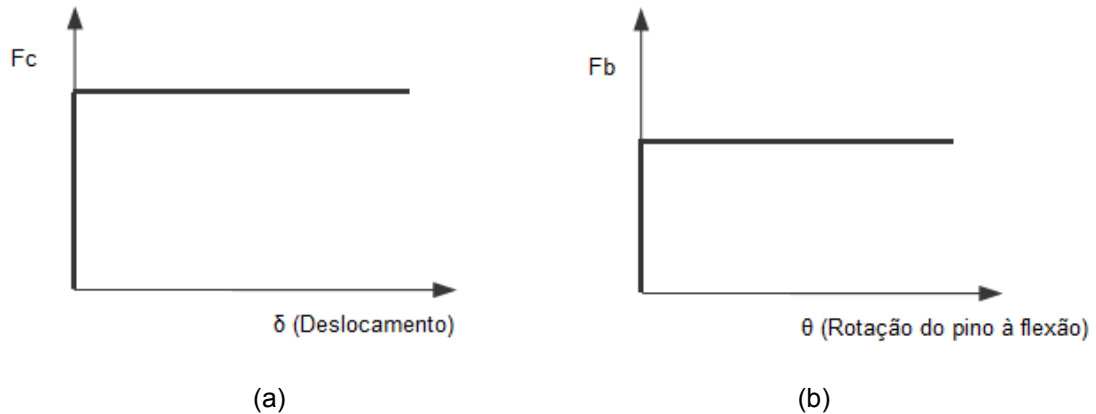


Figura 7 - (a) Comportamento para as peças de madeira; (b) Comportamento para os pinos metálicos

Fonte: Adaptado Porteous e Kermani (2007).

Segundo Jorissen (1998), além admitir as hipóteses anteriores, Johansen também utilizou as seguintes simplificações:

- I. Todos os elementos de madeira com mesma resistência ao embutimento (mesmas características de resistência);

- II. Para ligações com corte simples (um plano de corte no pino metálico), as espessuras dos elementos de madeira são iguais ($t_1=t_2$);
- III. Para ligações com corte duplo (dois planos de corte no pino metálico), as espessuras dos elementos de madeira devem ser simétricas;
- IV. Resistência à flexão do pino metálico admitida apenas ao seu limite elástico.

Möller¹ (1950, apud Veloso et al., 2002) reformulou as equações de Johansen para casos com diferentes espessuras de peças de madeira e diferentes resistências ao embutimento.

Segundo Hilário (2013), ao utilizar-se placas de aço em ligação entre elementos estruturais, reforça-se a estrutura. Através do posicionamento estratégico é possível aumentar a capacidade resistente da madeira à compressão perpendicular à fibra, uma vez que a chapa metálica oferecerá um caminho alternativo para a transmissão de cargas da ligação. Pode ocorrer também um aumento da capacidade resistente da madeira à tração perpendicular as fibras, evitando-se a rotura frágil de uma ligação e melhor apoio ou engastamento para o pino metálico. Na norma brasileira ABNT NBR 7190 (1997) é recomendado o dimensionamento para este tipo de ligação analisando-se o comportamento da madeira e do pino metálico em contato com ela através das equações apresentadas para a resistência, e o comportamento da chapa de aço e pinos metálicos em contato com a chapa, analisados através da ABNT NBR 8800 (2008) utilizando-se as recomendações e equações da referida norma para ligações.

4.3 DIMENSIONAMENTO DE LIGAÇÕES EM MADEIRA POR PINOS METÁLICOS SEGUNDO REVISÃO DA ABNT NBR 7190 (1997)

Segundo a revisão da ABNT NBR 7190 (1997), no dimensionamento de ligações por pinos metálicos devem ser respeitados os espaçamentos e pré-furações determinados por ela para que seja evitado o fendilhamento da madeira. A revisão também proíbe ligações com apenas um pino metálico. Nas ligações onde os

¹ MÖLLER, T.(1950). Em ny metod för beräkning av spikförband (New method of estimating the bearing strength of nailed wood connections). Sweden, Transaction of Chalmers University of Technology, Report N° 117.

conectores transferirem forças inclinadas em relação às fibras da madeira deve-se verificar a possibilidade de ruptura por tração normal localizada, de forma a atender a condição de segurança expressa na Equação 1.

$$F_{v,Ed} \leq F_{90,Rd} \quad (1)$$

Sendo:

- $F_{v,Ed}$: o maior valor entre os valores $F_{v,Ed,1}$ e $F_{v,Ed,2}$ ($F_{v,Ed}$ é a força de cisalhamento de cálculo atuante na região da ligação, $F_{v,Ed,1}$ e $F_{v,Ed,2}$ são respectivamente os valores da força cortante imediatamente a esquerda e a direita da ligação);
- $F_{90,Rd}$: a força resistente de cálculo, calculada a partir da Equação 2.

$$F_{90,Rk} = 14 \cdot b \cdot \sqrt{\frac{h_e}{\left(1 - \frac{h_e}{h}\right)}} \quad (2)$$

Onde:

- b : largura do elemento de madeira (mm);
- h : altura do elemento de madeira (mm);
- h_e : distância do conector mais afastado até a borda do elemento (mm);
- $F_{90,Rk}$: força resistente característica à tração normal localizada (N).

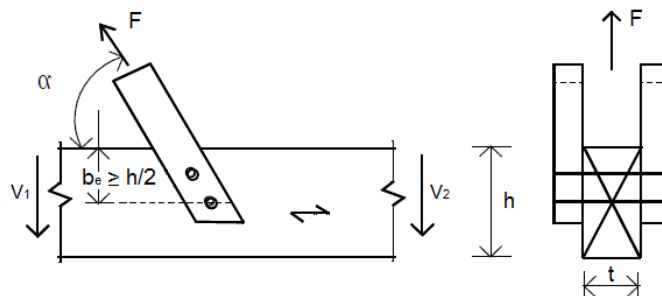


Figura 8 – Ligação com tração normal às fibras

Fonte: ABNT NBR 7190 (1997).

4.3.1 Critério de dimensionamento

Segundo a revisão da ABNT NBR 7190 (1997) o critério de segurança a ser atendido no dimensionamento dos elementos de ligação para os estados limites últimos é apresentado na Equação 4.

$$S_d \leq R_d \quad (3)$$

Sendo:

- R_d : o valor de cálculo da resistência da ligação;
- S_d : o valor de cálculo das solicitações nela atuantes.

A resistência de cálculo da ligação é dada pela Equação 5.

$$R_d = K_{mod1} \cdot K_{mod2} \cdot K_{mod3} \cdot \frac{R_k}{\gamma_{lig}} \quad (4)$$

Sendo:

- K_{mod1} , K_{mod2} e K_{mod3} : coeficientes de modificação;
- γ_{lig} : coeficiente de minoração das propriedades de resistência da ligação com valor de 1,4.

De acordo com a ABNT NBR 7190 (2011), os coeficientes de modificação afetam os valores de cálculo por levarem em consideração classe de carregamento da estrutura, classe de umidade e qualidade do material empregado. O coeficiente K_{mod1} considera a classe de carregamento, definida pela duração prevista acumulada para a ação variável principal agindo na estrutura, e o tipo de material empregado. Os valores para este coeficiente são apresentados no Quadro 10.

| Classes de carregamento | Ação variável principal da combinação | | Tipos de madeira | |
|-------------------------|---------------------------------------|---|--|--------------------|
| | Duração acumulada | Ordem de grandeza da duração acumulada da ação característica | Madeira serrada Madeira roliça Madeira laminada colada Madeira compensada | Madeira recomposta |
| Permanente | Permanente | Vida útil da construção | 0,60 | 0,30 |
| Longa duração | Longa duração | Mais de seis meses | 0,70 | 0,45 |
| Média duração | Média duração | Uma semana a seis meses | 0,80 | 0,65 |
| Curta duração | Curta duração | Menos de uma semana | 0,90 | 0,90 |
| Instantânea | Instantânea | Muito curta | 1,10 | 1,10 |

Quadro 10 - Classes de carregamento e valores de K_{mod1}
 Fonte: Adaptado de ABNT NBR 7190 (2011).

Porteous e Kermani (2007), listam exemplos para cada classe de carregamento como descritos no Quadro 11.

| Classes de carregamento | Exemplos |
|-------------------------|---|
| Permanente | Peso próprio |
| Longa duração | Reservatórios de água Carga de armazenamento |
| Média duração | Sobrecarga geral de piso |
| Curta duração | Neve Sobrecarga de manutenção de cobertura |
| Instantânea | Vento Explosão Cargas de impacto |

Quadro 11 - Exemplos de classes de carregamento
 Fonte: Adaptado de Porteous e Kermani (2007).

O coeficiente K_{mod2} considera as classes de umidade, além do tipo de madeira empregado. Os valores desse coeficiente são apresentados na Tabela 1. No caso de madeira submersa, admite-se um valor de $K_{mod2} = 0,65$.

Tabela 1 - Valores de K_{mod2}

| Classes de umidade | Madeira serrada | |
|--------------------|-------------------------|--------------------|
| | Madeira roliça | Madeira recomposta |
| | Madeira laminada colada | |
| | Madeira compensada | |
| (1) | 1,00 | 1,00 |
| (2) | 0,90 | 0,95 |
| (3) | 0,80 | 0,93 |
| (4) | 0,70 | 0,90 |

Fonte: ABNT NBR 7190 (2011).

O K_{mod3} considera a qualidade da madeira, sendo essa constatação realizada através de uma avaliação por meio de um método visual e/ou mecânico. As Tabelas 2 e 3, apresentam os valores deste coeficiente para madeiras classificadas.

Tabela 2 - Valores de K_{mod3} para coníferas

| Classificação | Classes | Tipos de Classificação | |
|---------------|---------|------------------------|-------------------|
| | | Visual | Visual e Mecânica |
| Densas (D) | SE - D | 0,70 | 0,90 |
| | S1 - D | 0,60 | 0,80 |
| | S2 - D | 0,50 | 0,70 |
| | S3 - D | 0,40 | 0,60 |

| Classificação | Classes | Tipos de Classificação | |
|-----------------|---------|------------------------|-------------------|
| | | Visual | Visual e Mecânica |
| Não-Densas (ND) | SE - ND | 0,60 | 0,80 |
| | S1 - ND | 0,50 | 0,70 |
| | S2 - ND | 0,40 | 0,60 |
| | S3 - ND | 0,30 | 0,50 |

Fonte: ABNT NBR 7190 (2011).

Tabela 3 - Valores de K_{mod3} para folhosas

| Classes | Tipos de Classificação | |
|---------|------------------------|-------------------|
| | Visual | Visual e Mecânica |
| SE | 0,90 | 1,00 |
| S1 | 0,85 | 0,95 |
| S2 | 0,80 | 0,90 |
| S3 | 0,75 | 0,85 |

Fonte: ABNT NBR 7190 (2011).

Para madeiras de folhosas sem classificação, deve ser adotado o valor de $K_{mod3}=0,70$. Para coníferas não é possível utilizar madeiras sem classificação. No caso da madeira laminada colada, quando são retas, adota-se o valor de $K_{mod3}=1,00$. Porém, quando apresentarem curvatura, obtém-se o K_{mod3} através da Equação 4.

$$K_{mod3} = 1 - 2000 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)^2 \quad (5)$$

Nesta equação, t é a espessura das lâminas e r é o menor raio de curvatura das lâminas que compõem a seção transversal resistente. Como pode ser visto nas Tabelas 2 e 3, a madeira pode ser classificada visualmente e/ou mecanicamente. Segundo Carreira (2003), a classificação visual é realizada através do olho humano que verifica as quatro faces do elemento de madeira e define as características dos defeitos que influenciam na resistência estrutural. A classificação mecânica tem como referência um estimador para medir a resistência da madeira. Neste caso, a densidade e a rigidez à flexão são mais utilizados.

As classes apresentadas nas tabelas de K_{mod3} são apresentadas em ordem decrescente de qualidade e resistência, SE – estrutural especial, S1 – estrutura nível 1, S2 – estrutura nível 2 e S3 – estrutura nível 3. Segundo Carreira (2003), os critérios para que uma peça seja classificada em uma ou outra classe são descritos pela *Southern Pine Inspection Bureau* e também pela norma ASTM D245 (1993).

Uma importante recomendação da revisão da ABNT NBR 7190 (1997) é que no dimensionamento de ligações com o uso de conectores em aço o valor de K_{mod1} não deve ser superior a 1, mesmo para combinação de ações de duração instantânea.

4.3.2 Momento resistente do pino metálico

O momento resistente característico do pino metálico $M_{y,k}$ é dado em N.mm e é determinado pela Equação 6.

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} \quad (6)$$

Sendo:

- $f_{u,k}$: a resistência última característica a tração do aço do pino metálico (N/mm²);
- d : o diâmetro efetivo do pino metálico (mm).

4.3.3 Ligações excêntricas

A revisão da ABNT NBR 7190 (1997) determina que quando houverem binários atuando no plano da união, além das tensões primárias decorrentes dos esforços atuantes nas peças interligadas, devem ser consideradas as tensões secundárias devidas às excentricidades existentes entre os eixos mecânicos das peças interligadas e o centro de rotação da união em seu plano de atuação.

4.3.4 Efeito de grupo para ligações com pinos

A revisão da ABNT NBR 7190 (1997) indica que em ligações com até oito pinos em linha, dispostos paralelamente ao esforço a ser transmitido, a resistência total dos pinos metálicos é dada pela soma das resistências de cada um dos pinos. Entretanto, em ligações com mais de oito pinos em linha, os pinos a mais devem ser considerados com apenas 2/3 de sua resistência individual. Deste modo, o número efetivo de pinos resistentes é determinado conforme a Equação 7.

$$n_{ef} = 8 + \frac{2}{3} \cdot (n_c - 8) \quad (7)$$

Sendo:

- n_c : o número de pinos;
- n_{ef} : o número efetivo de pinos resistentes.

4.3.5 Ligações com múltiplas seções de corte

Para a revisão da norma ABNT NBR 7190 (1997) em ligações com múltiplas seções de corte, a resistência de cada plano de corte deve ser determinada considerando-o como parte de uma ligação de corte duplo. A resistência deve ser obtida através da combinação das resistências individuais de cada plano de corte, considerando que o modo de falha que governa o comportamento da ligação deve ser compatível com os outros e não uma combinação destes.

4.3.6 Características dos pinos metálicos

Segundo a revisão da ABNT NBR 7190 (1997) os elementos de ligação utilizados em estruturas de madeira devem atender, se houverem, suas respectivas normas além das seguintes dimensões e resistências mínimas:

- Os pregos estruturais devem ter diâmetro nominal (d) mínimo de 3,0 mm, confeccionados de aço com baixo teor de carbono com resistência última característica ($f_{u,k}$) de pelo menos 600 MPa;
- Os parafusos estruturais passantes com porca e arruela com cabeça sextavada devem ter diâmetro nominal (d) mínimo de 9,5 mm, confeccionados de aço com

baixo teor de carbono, apresentar resistência mínima característica de escoamento $f_{y,k}$ de pelo menos 250 MPa;

- As porcas e arruelas devem ser confeccionadas com aço com baixo teor de carbono e apresentarem resistência característica de escoamento $f_{y,k}$ de pelo menos 250 MPa. As arruelas devem ter diâmetro externo maior ou igual a 3d, espessura maior ou igual a 0,3 d e devem ser utilizadas em ambos os lados do parafuso;
- Os parafusos de rosca soberba devem ter diâmetro nominal d mínimo de 9,5 mm, confeccionados de aço com baixo teor de carbono e apresentarem resistência mínima característica de escoamento $f_{y,k}$ de pelo menos 250 MPa.

O Quadro 12 apresenta um resumo das recomendações da revisão da ABNT NBR 7190 (1997) quanto às características dos elementos de ligação.

| Especificação do pino metálico | | $f_{y,k}$ (MPa) | $f_{u,k}$ (MPa) | Diâmetro nominal mínimo |
|--|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------------|
| Prego comum | Liso com cabeça | 580 | 600 | $d \geq 3 \text{ mm}$ |
| Parafuso passante padrão ASTM | A307 | 250 | 415 | $d \geq 3/8 \text{ pol}$ |
| | A325 | 635 | 825 | |
| | A490 | 895 | 1035 | |
| Parafuso passante padrão NBR ISO 898-1 | Classe 4.6 | 235 | 400 | $d \geq 10 \text{ mm}$ |
| | Classe 8.8 | 640 | 800 | |
| | Classe 10.9 | 900 | 1000 | |
| Parafuso de rosca soberba | | 250 | 415 | $d \geq 9,5 \text{ mm}$ |

Quadro 12 – Características dos pinos metálicos

Fonte: Revisão da ABNT NBR 7190 (1997).

4.3.7 Espaçamentos

Os espaçamentos mínimos recomendados pela revisão da ABNT NBR 7190 (1997) para ligações com pinos metálicos são apresentados no Quadro 13.

| Espaçamento ou distância | Ângulo α | Pregos com pré-furação | Parafusos passantes, parafusos de rosca soberba e parafusos ajustados |
|--|--|---|--|
| Espaçamento a_1 (paralelo às fibras) | $0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$ | $(4 + \cos \alpha) \cdot d$ | $(4 + \cos \alpha) \cdot d$ |
| Espaçamento a_2 (perpendicular às fibras) | $0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$ | $(3 + \sen \alpha) \cdot d$ | $4 \cdot d$ |
| Distância $a_{3,t}$ (extremidade carregada) | $-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ | $(7 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d$ | Maior entre $7 \cdot d$ e 80 mm |
| Distância $a_{3,c}$ (extremidade não carregada) | $90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$ | $7 \cdot d$ | $(1 + 6 \cdot \sen \alpha) \cdot d$ |
| | $150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$ | $7 \cdot d$ | $4 \cdot d$ |
| | $210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$ | $7 \cdot d$ | $(1 + 6 \cdot \sen \alpha) \cdot d$ |
| Distância $a_{4,t}$ (borda lateral carregada) | $0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$ | Para $d < 5 \text{ mm}$: $(3 + 2 \cdot \sen \alpha) \cdot d$ Para $d \geq 5 \text{ mm}$: $(3 + 4 \cdot \sen \alpha) \cdot d$ | Maior entre $(2 + 2 \cdot \sen \alpha) \cdot d$ e $3 \cdot d$ |
| Distância $a_{4,c}$ (borda lateral não carregada) | $180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$ | $3 \cdot d$ | $3 \cdot d$ |

Quadro 13 – Espaçamentos mínimos para ligações com pinos metálicos

Fonte: Revisão da ABNT NBR 7190 (1997).

Sendo:

- a_1 : espaçamento entre o centro de dois pinos situados em uma mesma linha paralela às fibras;

- a_2 : espaçamento entre os centros de dois pinos situados em duas linhas perpendiculares às fibras;
- $a_{3,c}$: distância do centro do pino à extremidade não carregada da peça;
- $a_{3,t}$: distância do centro do pino à extremidade carregada da peça;
- $a_{4,c}$: distância do centro do pino à borda lateral não carregada da peça;
- $a_{4,t}$: distância do centro do pino à borda lateral carregada da peça;
- α : menor ângulo entre a força e a direção das fibras.

Os espaçamentos podem ser melhor visualizados na Figura 9.

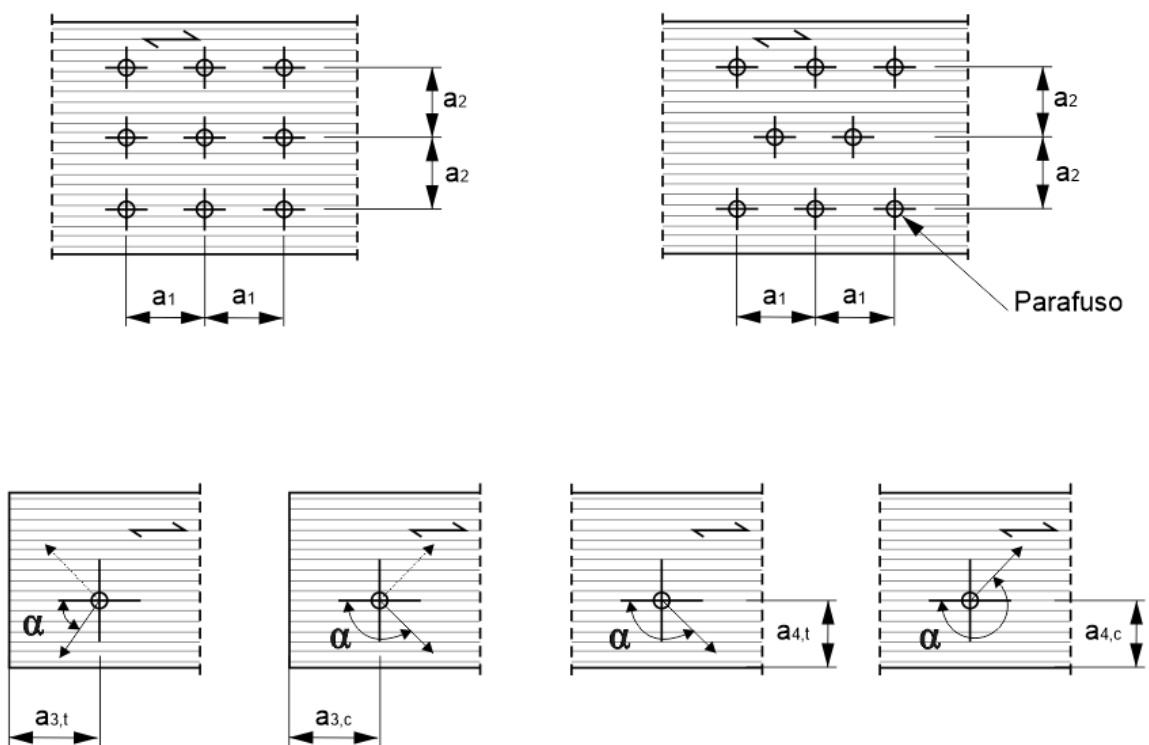


Figura 9 - Espaçamentos em ligações com pinos

Fonte: Revisão da ABNT NBR 7190 (1997).

4.3.8 Pré-furação

Quanto à pré-furação a revisão da ABNT NBR 7190 (1997) determina que em ligações pregadas, é obrigatória a pré-furação da madeira com diâmetro d_0 não maior que o diâmetro d do prego, recomendando os valores de 85% para madeiras coníferas e 98% para madeiras folhosas. É permitido o emprego de ligações pregadas sem pré-furação da madeira, em estruturas provisórias, desde que sejam utilizadas madeiras de baixa densidade ($\rho_{ap} \leq 600 \text{ kg/m}^3$) para que permitam a penetração dos pregos sem risco de fendilhamento, e sejam utilizados pregos com diâmetro d não maior que $1/6$ da espessura da madeira mais fina e com espaçamento mínimo de $10 d$. Permite-se também o desprezo da pré-furação da madeira quando for utilizado sistema mecânico ou pneumático de pregação. Porém, caberá à indústria avaliar a relação entre a rigidez da madeira, o diâmetro do pino e a pressão, a fim de evitar o fendilhamento da madeira no cravamento do prego.

Para as ligações com parafusos passantes devem ser realizadas pré-furação de no mínimo o diâmetro d do parafuso passante e, no máximo 1 mm maior que o mesmo diâmetro d do parafuso. A pré-furação dos parafusos de rosca soberba deve ser de aproximadamente 70% do diâmetro do parafuso. O Quadro 14 resume os diâmetros de pré-furação para as ligações com pinos metálicos.

| Pino metálico | Pré-furação |
|-----------------------------|--|
| Pregos | Coníferas $d_0 = 0,85 d$ Folhosas: $d_0 = 0,98 d$ |
| Parafusos passantes | $d \leq d_0 \leq d + 1\text{mm}$ |
| Parafusos com rosca soberba | $d_0 = 0,70 d$ |

Quadro 14 – Diâmetros de pré-furação para ligações com pinos metálicos

Fonte: Revisão da ABNT NBR 7190 (1997).

4.3.9 Resistência característica de ligações de elementos de madeira com pinos metálicos

Segundo a revisão da norma ABNT NBR 7190 (1997) a resistência de ligações com pinos metálicos deve ser obtida de ensaio padronizado ou, na impossibilidade de execução do ensaio, pode-se estimar a resistência característica da ligação pela Equação 8.

$$R_k = F_{v,Rk} \cdot n_{sp} \cdot n_{ef} \quad (8)$$

Sendo:

- n_{sp} : quantidade de seções de corte por pino metálico;
- n_{ef} : número efetivo de pinos por ligação;
- $F_{v,Rk}$: resistência característica de um pino, correspondente a uma dada seção de corte.

Para que a ligação possa ser considerada resistente devem ser atendidas as especificações de espaçamentos e pré-furação além das seguintes:

- Na configuração em corte simples, assim como na configuração em corte duplo o diâmetro efetivo do parafuso passante não deve ser maior que a metade da menor espessura dos elementos de madeira interligados;
- O diâmetro efetivo do prego não deve ser superior a um quinto da menor espessura dentre as peças de madeira ligadas. O diâmetro efetivo do prego pode ser maior que um quarto da espessura da peça de madeira mais delgada, desde que o diâmetro da pré-furação seja igual ao diâmetro efetivo do prego;
- Para o prego ser considerado resistente, sua penetração em qualquer um dos elementos ligados não deve ser menor que a espessura da peça mais delgada;
- Para ligações localizadas, a penetração da ponta do prego na peça de madeira mais distante de sua cabeça deve ser de pelo menos 12 d ou igual à espessura

dessa peça. Já em ligações corridas, esta penetração pode ser limitada ao valor da espessura t_1 ;

- O diâmetro efetivo do parafuso de rosca soberba não deve exceder um quinto da menor espessura dentre as peças de madeira ligadas. O diâmetro efetivo do parafuso pode ser maior que um quarto da espessura da peça de madeira mais delgada, desde que o diâmetro da pré-furação seja igual ao diâmetro efetivo do parafuso;
- Em ligações localizadas, a penetração da ponta do parafuso na peça de madeira mais distante de sua cabeça deve ser de pelo menos $6d$ ou igual à espessura dessa peça. Porém, em ligações corridas esta penetração pode ser limitada ao valor da espessura t_1 .

A Figura 10 ilustra as situações de corte simples e duplo para parafusos passantes. Já as Figuras 11 e 12 ilustram as situações onde os pregos são considerados resistentes, para corte simples e duplo, respectivamente.

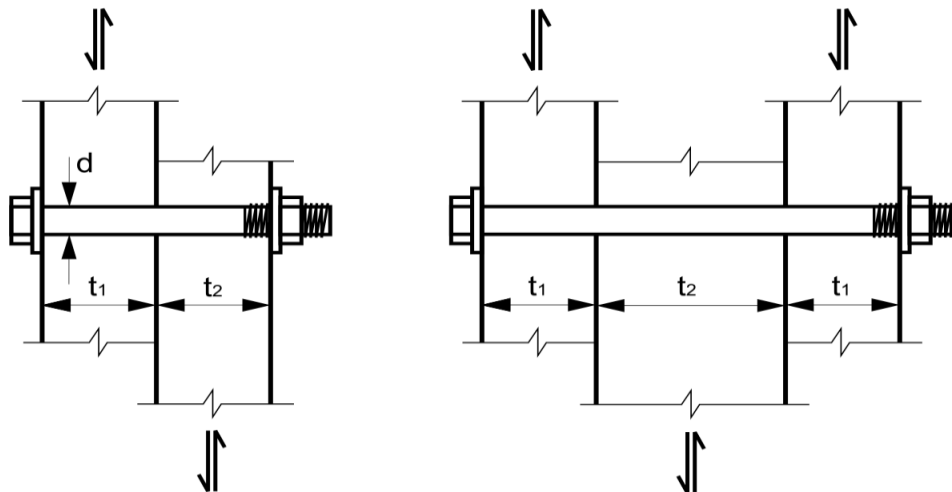


Figura 10- Ligação de elementos de madeira com parafusos passantes com porca e arruelas em (a) corte simples e (b) corte duplo

Fonte: Revisão na ABNT NBR 7190 (1997).

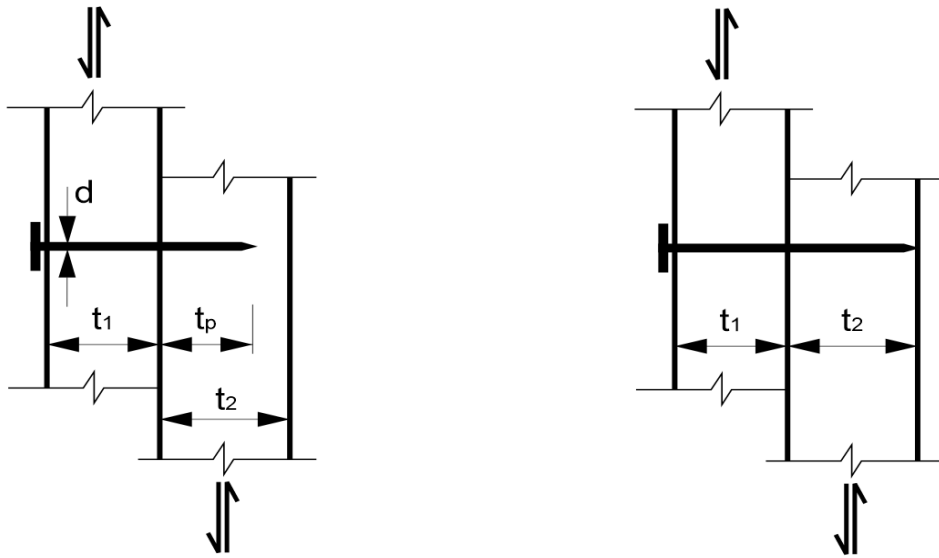


Figura 11 – Situação de corte simples com prego com comprimento suficiente para ser considerado resistente

Fonte: Revisão da ABNT NBR 7190 (1997).

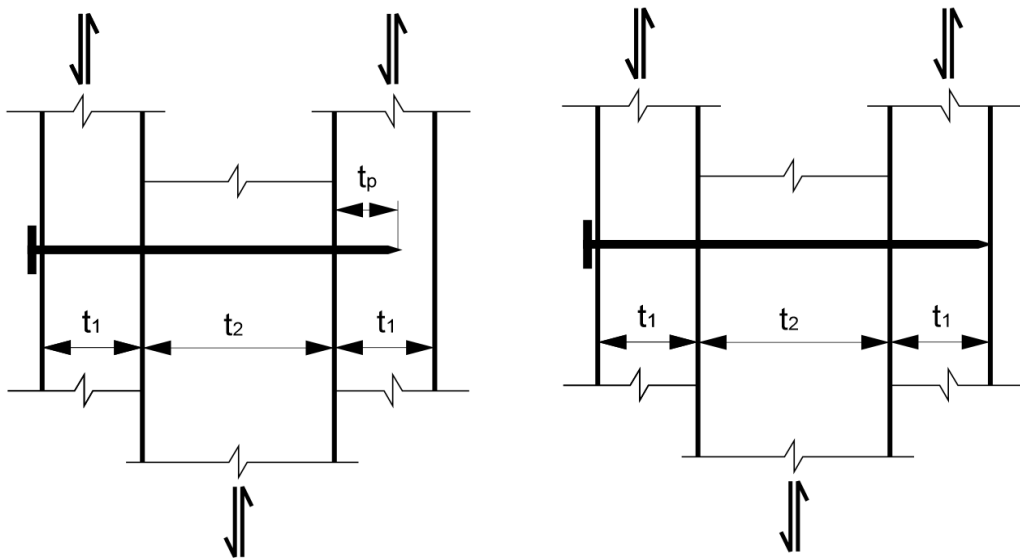


Figura 12 - Situação de corte duplo com prego com comprimento suficiente para ser considerado resistente

Fonte: Revisão da ABNT NBR 7190 (1997).

A revisão da ABNT NBR 7190 (1997) determina que a resistência característica de uma seção de corte de um prego será o menor valor dentre os obtidos pelas equações do Quadro 15 ou 16, determinando assim o modo de falha que irá ocorrer.

| | |
|---|---|
| | |
| Modo de falha | Força característica calculada por plano de corte e por pino utilizado |
| (Ia) | $F_{v,Rk1} = f_{e1,k} t_1 d$ |
| (Ib) | $F_{v,Rk2} = f_{e1,k} t_2 d \beta$ |
| (Ic) | $F_{v,Rk3} = \frac{f_{e1,k} t_1 d}{1 + \beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$ |
| (IIa) | $F_{v,Rk4} = 1,05 \frac{f_{e1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,k}}{f_{e1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$ |
| (IIb) | $F_{v,Rk5} = 1,05 \frac{f_{e1,k} t_2 d}{1 + 2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta)M_{y,k}}{f_{e1,k} d t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$ |
| (III) | $F_{v,Rk6} = 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2 M_{y,k} f_{e1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$ |
| $F_{v,Rk}$ é o menor valor dentre os resultados dos seis modos de falha | |

Quadro 15 - Modos de falha e equações para ligações de elementos de madeira com pinos metálicos (corte simples)

Fonte: Revisão da ABNT NBR 7190 (1997).

| | |
|---|---|
| | |
| Modo de falha | Força característica calculada por plano de corte e por pino utilizado |
| (Ia) | $F_{v,Rk1} = f_{e1,k} t_1 d$ |
| (Ib) | $F_{v,Rk2} = 0,5 f_{e1,k} t_2 d \beta$ |
| (II) | $F_{v,Rk3} = 1,05 \frac{f_{e1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,k}}{f_{e1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$ |
| (III) | $F_{v,Rk4} = 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2 M_{y,k} f_{e1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$ |
| $F_{v,Rk}$ é o menor valor dentre os resultados dos quatro modos de falha | |

Quadro 16 - Modos de falha e equações para ligações de elementos de madeira com pinos metálicos (duas seções de corte)

Fonte: Revisão da ABNT NBR 7190 (1997).

Sendo β a razão entre as resistências de embutimento das peças de madeira interligadas, e determinado a partir da Equação 9.

$$\beta = \frac{f_{e2,k}}{f_{e1,k}} \quad (9)$$

O valor $F_{ax,Rk} / 4$, presente nas equações dos Quadros 15 e 16, é a contribuição do efeito de confinamento provocado pela compressão das arruelas nas laterais externas da ligação e/ou pela resistência à tração do pino metálico. É recomendado que só seja utilizado desde que comprovado experimentalmente. Segundo a revisão

da ABNT NBR 7190 (1997) a contribuição do efeito de confinamento deve ser limitada às seguintes porcentagens para cada tipo de caso:

- Pregos cilíndricos lisos (15%);
- Pregos anelados (25%);
- Parafusos passantes com porca e arruelas (25%);
- Parafusos de rosca soberba (100%);
- Pinos metálicos ajustados (0%).

Em ligações com parafusos passantes o valor $F_{ax,Rk}$ pode ser estimado pela escolha do menor valor entre a resistência de tração do parafuso, indicada na Equação 10, e a resistência ao embutimento da arruela na madeira (Equação 11). Já para ligações com pregos, o valor $F_{ax,Rk}$ pode ser estimado pela escolha do menor valor entre a resistência de tração do prego (Equação 11) e a resistência ao embutimento da cabeça do prego na lateral externa da peça de madeira.

$$F_{ax,rk} = 0,75 \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot f_{u,k} \quad (10)$$

$$f_{ax,rk} = \left(\frac{\pi d^2}{4} - \frac{\pi d_1^2}{4} \right) \cdot 3 \cdot f_{e,k} \quad (11)$$

4.3.10 Resistência característica de ligações de elementos de madeira e aço com pinos metálicos

A revisão da norma ABNT NBR 7190 (1997) determina que a resistência de ligações com parafusos passantes com chapas metálicas laterais ou central deve ser obtida de ensaio padronizado ou, no caso de impossibilidade de execução do ensaio, pode-se estimar a resistência característica da ligação através da Equação 12.

$$R_k = F_{v,Rk} \cdot n_{sp} \cdot n_0 \quad (12)$$

Sendo:

- n_{sp} : quantidade de seções de corte por pino metálico;
- n_0 : número efetivo de pinos por ligação;
- $F_{v,Rk}$: resistência característica de um pino, correspondente a uma dada seção de corte.

Os modos de falha das ligações em madeira com chapas de aço são caracterizados pela espessura t_s das chapas metálicas. Se a espessura for menor ou igual a $0,5 d$ são classificadas como chapas finas e, se a espessura for maior ou igual a d e diâmetro de pré-furação menor ou igual a $1,2 d$ são classificadas como chapas grossas. Para calcular a resistência característica de ligação com limites compreendidos entre chapa fina e chapa grossa deve ser utilizada interpolação linear a partir dos menores valores obtidos pelas equações correspondentes. A resistência ao corte do pino metálico, bem como a resistência da chapa metálica deve ser verificada considerando as recomendações da ABNT NBR 8800(2008).

A revisão da norma ABNT NBR 7190 (1997) exige que as chapas metálicas empregadas em ligações em madeira tenham espessura mínima de 6 mm para edificações em geral e 9 mm para pontes. Para a ligação ser considerada resistente devem ser atendidas as especificações de espaçamentos e diâmetros de pré-furação, para chapas de aço e madeira, além das seguintes:

- Na configuração em corte simples assim como na configuração em corte duplo o diâmetro efetivo do parafuso passante não ser maior que metade da menor espessura dos elementos de madeira interligados;
- O diâmetro efetivo do prego não deve exceder um quinto da menor espessura dentre as peças de madeira ligadas. O diâmetro efetivo do prego pode ser maior que um quarto da espessura da peça de madeira mais delgada, desde que o diâmetro da pré-furação seja igual ao diâmetro efetivo do prego. Já em

ligações localizadas, a penetração da ponta do prego na peça de madeira deve ser de pelo menos $12d$ ou igual à espessura dessa peça;

- O diâmetro efetivo do parafuso de rosca soberba não superar um quinto da menor espessura dentre as peças de madeira ligadas. O diâmetro efetivo do parafuso pode ser maior que um quarto da espessura da peça de madeira mais delgada, desde que o diâmetro da pré-furação seja igual ao diâmetro efetivo do parafuso. Em ligações localizadas, a penetração da ponta do parafuso de rosca soberba na peça de madeira deve ser no mínimo de $6d$ ou igual à espessura dessa peça.

As Figuras 13, 14 e 15 apresentam configurações das ligações de madeira e aço com parafusos passantes, pregos e parafusos de roca soberba, respectivamente.

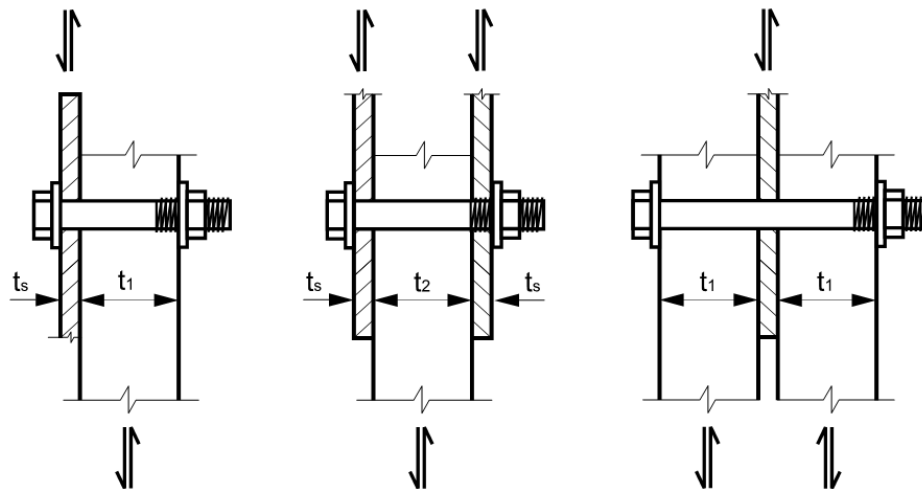


Figura 13 - Configurações de ligações de elementos de madeira e aço com parafusos passantes

Fonte: Revisão da ABNT NBR 7190 (1997).

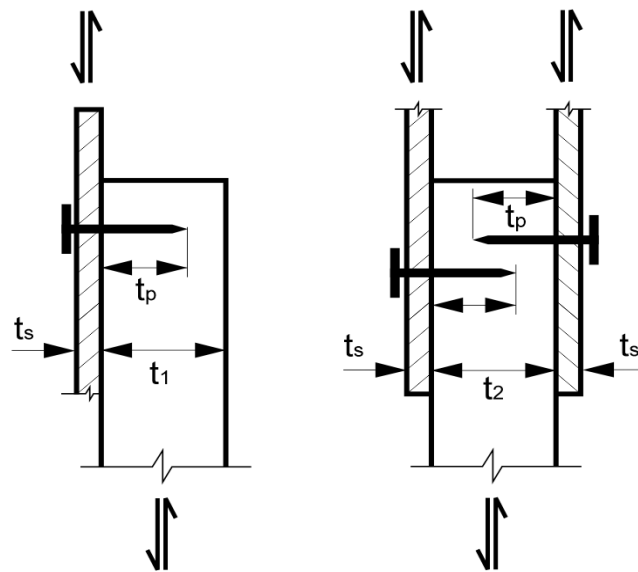


Figura 14 - Configurações de ligações de elementos de madeira e aço com pregos em corte simples
Fonte: Revisão da ABNT NBR 7190 (1997).

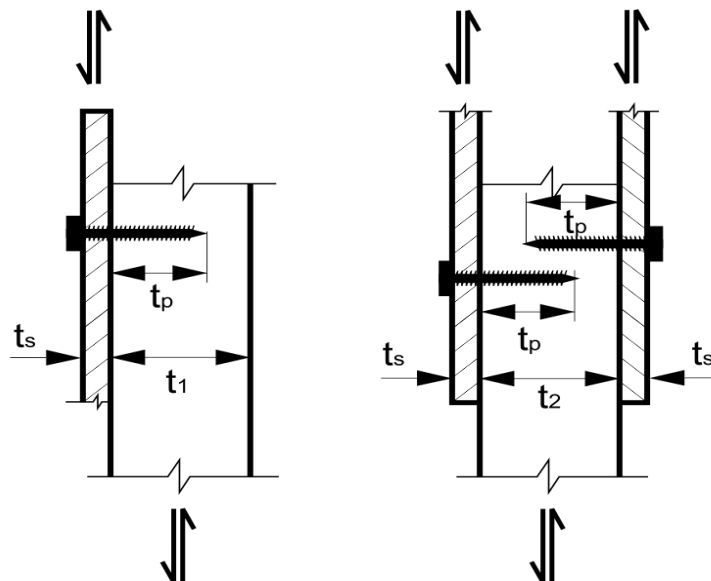


Figura 15 - Configurações de ligações de elementos de madeira e aço com parafusos de rosca soberba em corte simples
Fonte: Revisão da ABNT NBR 7190 (1997).

Para esse tipo de ligação, a revisão da ABNT NBR 7190 (1997) determinar que a força característica por plano de corte e por pino metálico deve ser considerada como o menor valor dentre os resultados das equações seguintes:

- Para ligações com chapas finas em corte simples:

Modo de falha (a) $F_{v,Rk} = 0,4 \cdot f_{e1,k} \cdot t_1 \cdot d$

Modo de falha (b) $F_{v,Rk} = 1,15 \cdot \left[\sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{e1,k} \cdot d} \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$

- Para ligações com chapas grossas em corte simples:

Modo de falha (c) $F_{v,Rk} = f_{e1,k} \cdot t_1 \cdot d$

Modo de falha (d) $F_{v,Rk} = f_{e1,k} \cdot t_1 \cdot d \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{e1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$

Modo de falha (e) $F_{v,Rk} = 2,3 \cdot \left[\sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{e1,k} \cdot d} \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$

- Para ligações com chapa metálica central de qualquer espessura, em dupla seção de corte:

Modo de falha (f) $F_{v,Rk} = f_{e1,k} \cdot t_1 \cdot d$

Modo de falha (g) $F_{v,Rk} = f_{e1,k} \cdot t_1 \cdot d \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{e1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$

Modo de falha (h)
$$F_{v,Rk} = 2,3 \cdot \left[\sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{e1,k} \cdot d} \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

- Para ligações com duas chapas laterais caracterizadas como finas, em corte duplo:

Modo de falha (i)
$$F_{v,Rk} = 0,5 \cdot f_{e2,k} \cdot t_2 \cdot d$$

Modo de falha (j)
$$F_{v,Rk} = 1,15 \cdot \left[\sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{e2,k} \cdot d} \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

- Para ligações com duas chapas laterais caracterizadas como grossas, em corte duplo:

Modo de falha (k)
$$F_{v,Rk} = 0,5 \cdot f_{e2,k} \cdot t_2 \cdot d$$

Modo de falha (l)
$$F_{v,Rk} = 2,3 \cdot \left[\sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{e2,k} \cdot d} \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

Sendo:

- t_1 : a menor espessura dentre os elementos de madeira laterais (corte simples e duplo);
- t_2 : a espessura do elemento de madeira central para os casos em corte duplo;
- $f_{e1,k}$, $f_{e2,k}$: resistência ao embutimento dos elementos de madeira 1 e 2, respectivamente;
- $M_{y,Rk}$: momento característico resistente do parafuso.

A Figura 16 ilustra todos os modos de falha para ligações entre elementos de madeira com chapas de aço e pinos metálicos.

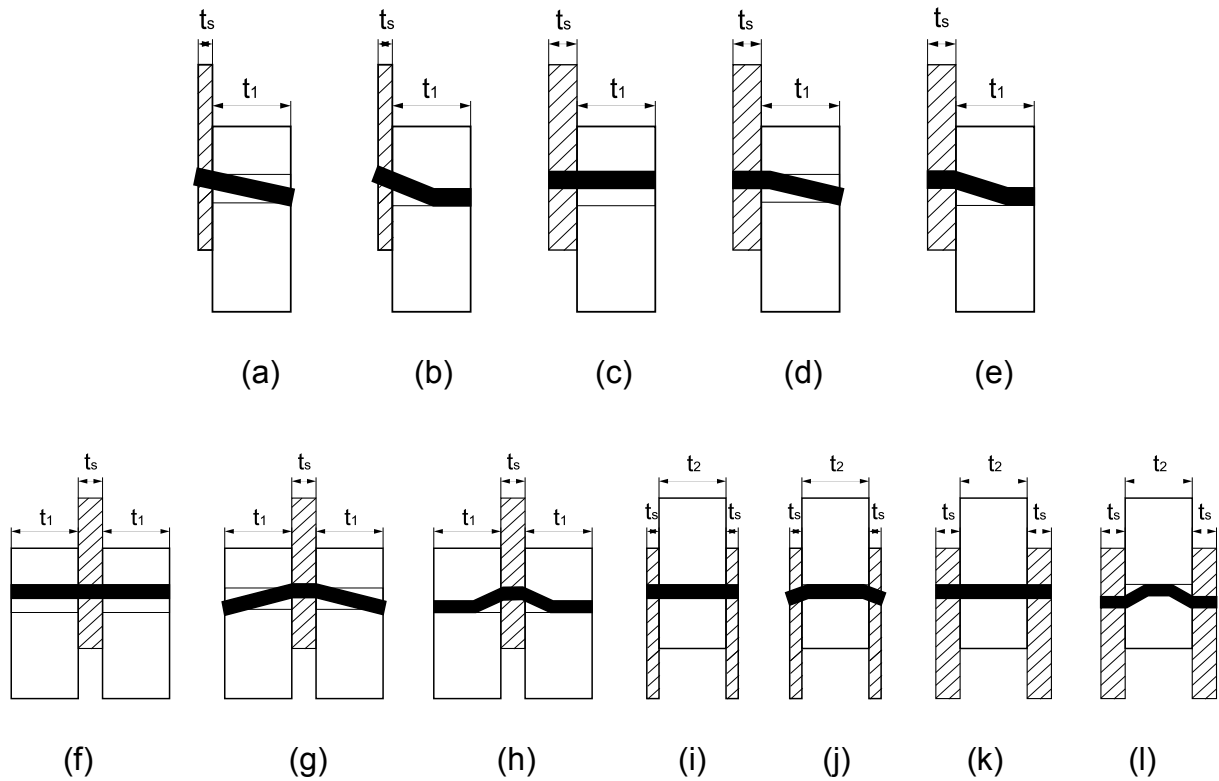


Figura 16 - Modos de falha para determinação da força característica de ligações com pinos metálicos e chapas de aço

Fonte: Revisão da ABNT NBR 7190 (1997).

Outro efeito que deve ser verificado é o conhecido como Block Shear. Segundo o EUROCODE 5 (2004), este é um efeito que ocorre em ligações com múltiplos parafusos submetidas a forças paralelas às fibras aplicada próximo ao elemento de madeira e que gera ruptura ao logo do perímetro da ligação. A resistência devido a este efeito pode ser calculada segundo a Equação 13 e os modos de falha são apresentados na Figura 17.

$$F_{bs,Rk} = \text{máximo} \begin{cases} 1,5 A_t \cdot f_{t,0k} \\ 0,7 A_v \cdot f_{v,0k} \end{cases} \quad (13)$$

Sendo:

- $f_{t,0k}$: resistência a tração paralela as fibras da madeira;
- $f_{v,0k}$: resistência a cortante da madeira;
- A_t : área da seção cortada na região parafusada perpendicular às fibras que está submetida a tração, que é definida através das Equações 14 e 15.

$$A_t = L_{tot,t} \cdot t_1 \quad (14)$$

$$L_{tot,t} = \sum_i l_{t,i} \quad (15)$$

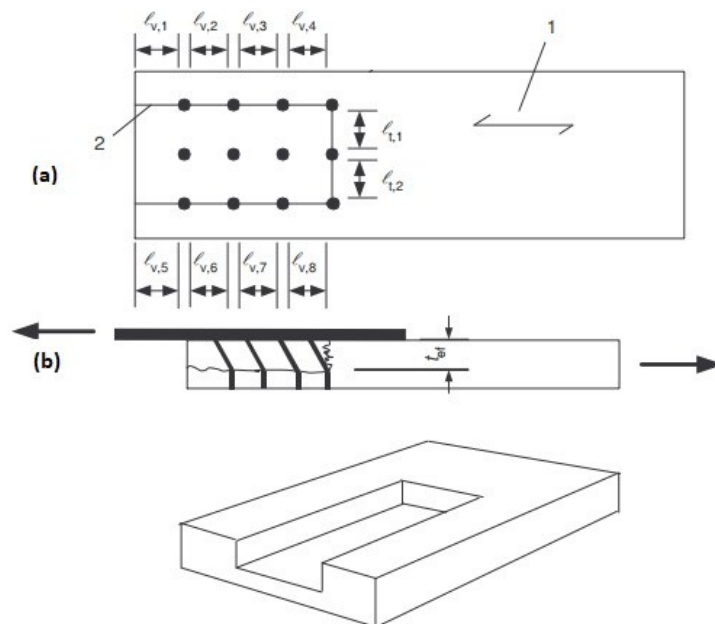


Figura 17 - Efeito Block Shear (a) e Plug Shear (b)

Fonte: Adaptado EUROCODE 5.

A_v é área da seção cortada na região parafusada paralela às fibras submetida ao efeito de força cortante e pode ser encontrada através das Equações 16 e 17. A Equação 16 é utilizada para os modos de falha e, f, j/l, k e m, e a Equação 17 para os demais modos.

$$A_t = \begin{cases} L_{tot,v} \cdot t_1 & (16) \\ \frac{L_{tot,v}}{2} \cdot (L_{tot,t} + 2 \cdot t_{ef}) & (17) \end{cases}$$

$$L_{tot,v} = \sum_i l_{v,i} \quad (18)$$

Sendo:

- $L_{tot,t}$: comprimento total da ruptura perpendicular às fibras que sofre tração;
- $L_{tot,v}$: comprimento total da ruptura devido a cortante;
- $l_{i,t}$ e $l_{i,v}$: são obtidos conforme a figura 17;
- $M_{y,Rk}$: momento característico do parafuso;
- $f_{e,1,k}$: resistência ao embutimento da madeira;
- t_1 : espessura da peça de madeira;
- t_{ef} : espessura efetiva que sofre ruptura, dependente dos modos de falha conforme as relações abaixo:

- Chapas finas:

$$t_{ef} = \begin{cases} 0,4 \cdot t_1 & (19) \\ 1,4 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{f_{e,1,k} \cdot d}} & (20) \end{cases}$$

As Equações 19 e 20 são utilizadas, respectivamente, pelos modos de falha a e b.

- Chapas grossas

$$t_{ef} = \begin{cases} 2 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{f_{e,1,k}}} & (21) \\ t_1 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{M_{y,Rk}}{f_{e,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] & (22) \end{cases}$$

A Equação 21 é utilizada para os modos de falha d e h, e a Equação 22 para os modos c e g.

4.4 LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO UTILIZADA

A linguagem utilizada no software foi a Java. A sintaxe utilizada na linguagem Java deriva da C++, porém, muito mais simples. Em resumo, o código é escrito todo dentro de uma classe e isso tudo é um objeto, excetuando-se os tipos intrínsecos por questões da funcionalidade exercida. Segundo Reed e Afjeh (1998) um benefício de utilizar a linguagem Java é a de que esta é uma linguagem orientada a objetos. Isto faz com que o desenvolvimento seja mais simples e fácil de aprimorar projetos já realizados. Uma linguagem orientada a objetos é um tipo de programação onde todos os elementos são inseridos como objetos. O desenvolvedor do código é responsável por modelar as funções de cada objeto e a interação entre eles.

As ferramentas da linguagem Java podem ser divididas em três seguimentos: o JVM (Java Virtual Machine), que é a máquina virtual; o JRE (Java Runtime Environment), que é o ambiente de execução que possibilita executar qualquer tipo de aplicação desenvolvida em Java, e é formado pela JVM e as bibliotecas da linguagem; por fim o JDK (Java Development Kit), composto pelo JRE somado a ferramentas para desenvolvimento, como o compilador.

O NetBeans é um software integrado gratuito, de código aberto e estruturado de forma a simplificar o desenvolvimento de *softwares*, reunindo todas as funcionalidades para auxiliar os programadores em diversas linguagens como Java, C, C++, PHP, entre outras. Pode ser executado em muitas plataformas, como Windows, Linux, Solaris e MacOS.

Para o desenvolvimento do software, com suas interfaces e códigos, foram utilizados o pacote JDK 8 e o software NetBeans IDE 8.2.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 LÓGICA DE PROGRAMAÇÃO

O software é organizado em telas e abas. O modelo de cálculo utilizado possibilita a utilização de fluxogramas similares, porém, com particularidades para cada tipo de ligação.

A programação seguiu o padrão de projeto conhecido como MVC (model-view-controller). Foram criadas primeiramente as telas e seus componentes necessários (pertencentes a classe view), posteriormente as classes modelo que servem de base para instanciar os objetos e finalmente as classes controle, que são as responsáveis por executar as funções de cálculo e verificações no software. A relação de dependência entre as classes criadas, é apresentada na Figura 18.

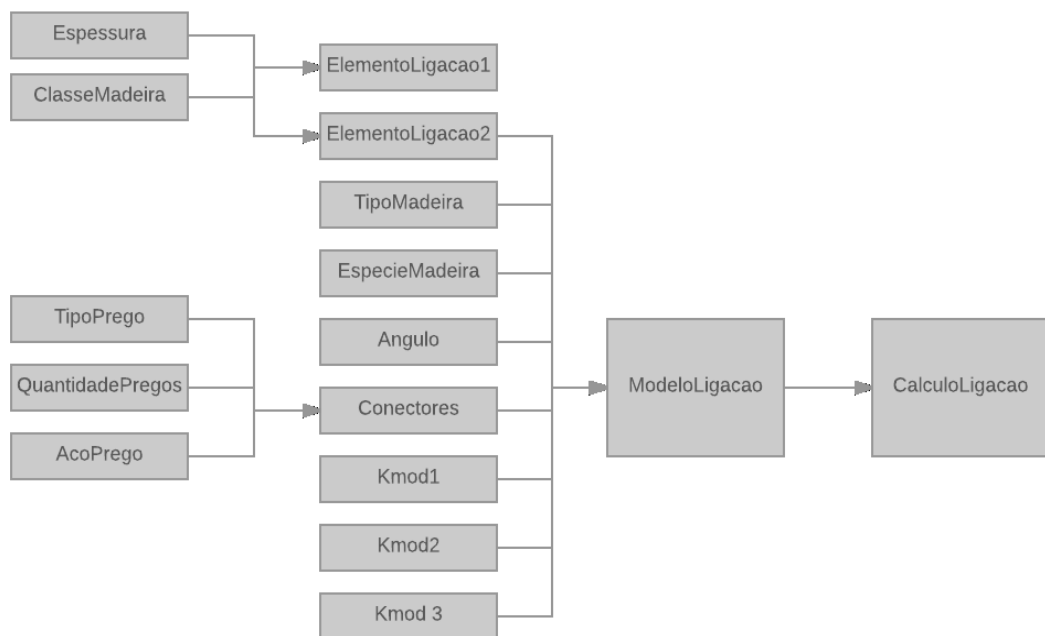


Figura 17 – Dependência das classes

Fonte: Autoria própria (2017).

A fim de diminuir o número de valores incorretos ou campos vazios que podem ser inseridos no software, optou-se por utilizar caixas de seleção onde os usuários encontrarão valores válidos pela norma, além de serem implementadas verificações a cada dado inserido que retornam mensagens na barra de status situada na parte inferior da tela.

Como o software tem caráter educacional, foi criada uma tela onde os desenvolvedores se isentam de qualquer responsabilidade pelo uso indevido do programa e suas informações, sendo necessário para inicialização do programa o usuário concordar com os termos. Essa primeira escolha dada ao usuário é apresentada na Figura 19.

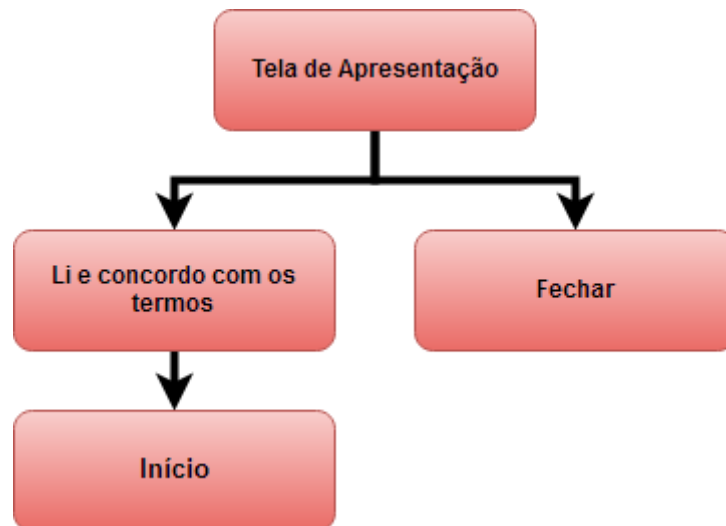


Figura 18 - Primeira escolha do usuário

Fonte: Autoria própria (2017).

Caso o usuário concorde com os termos, o programa será iniciado e ele deverá fazer uma nova escolha, o tipo de ligação, conforme apresentado na Figura 20.

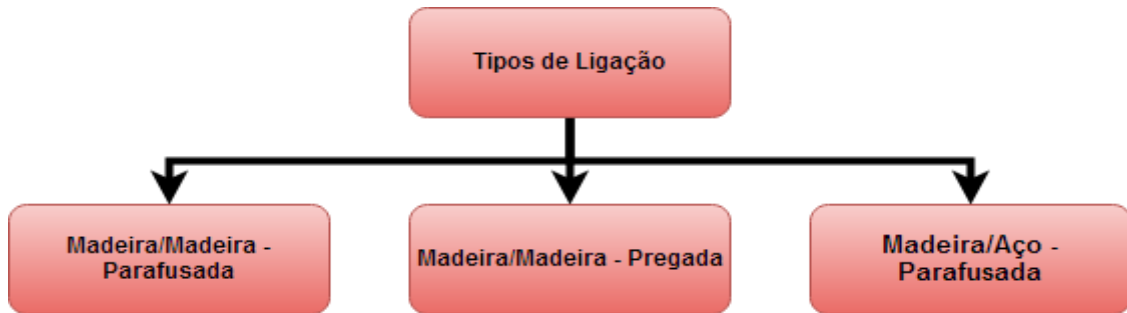


Figura 19 – Segunda escolha do usuário

Fonte: Autoria própria (2017).

Optando pelo tipo de ligação, a lógica de programação para cada um será semelhante, salvo algumas particularidades de cada modelo de dimensionamento. As Figuras 21, 22 e 20 apresentam os fluxogramas para cada tipo de ligação.

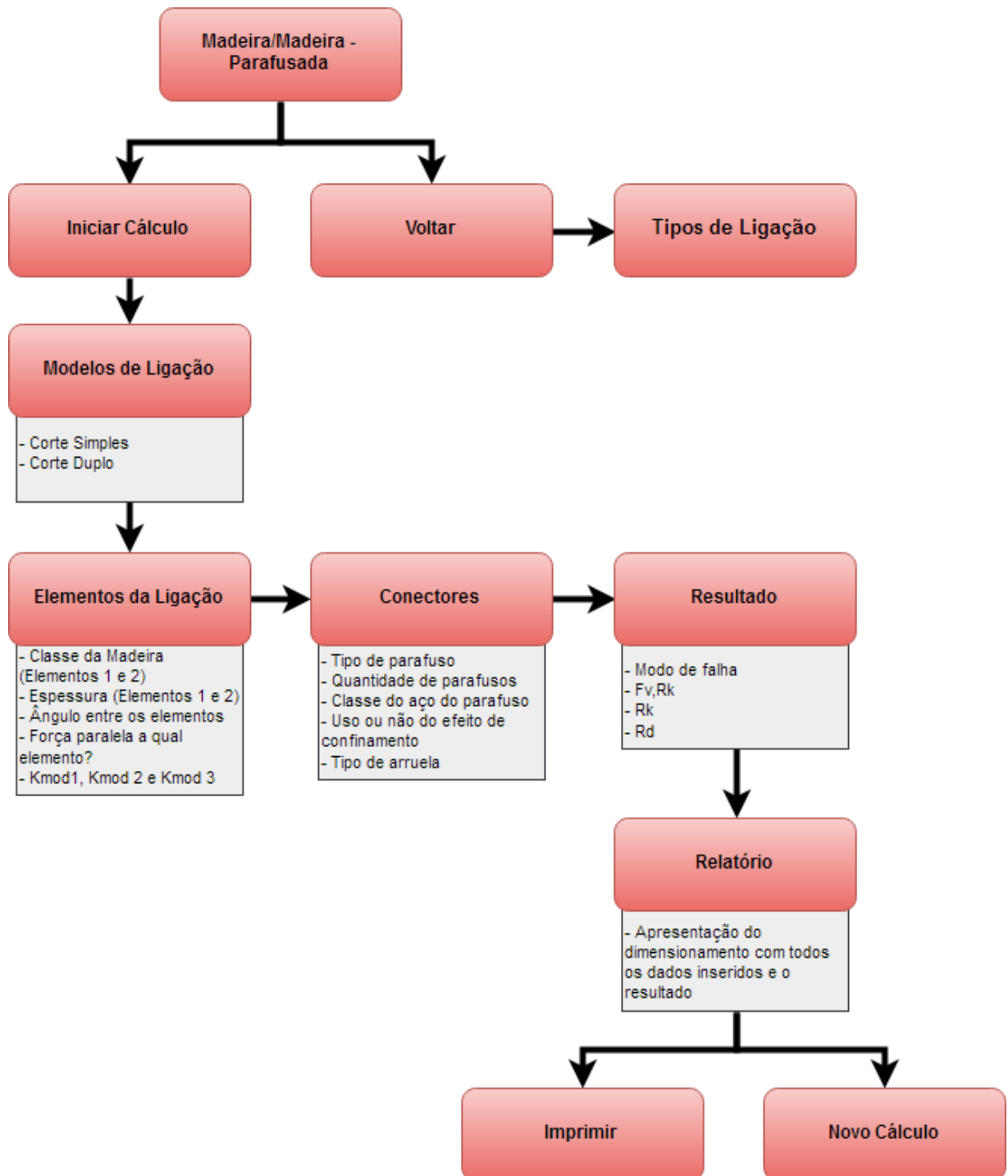


Figura 20 – Fluxograma para ligações entre elementos de madeira por parafusos

Fonte: Autoria própria (2017).

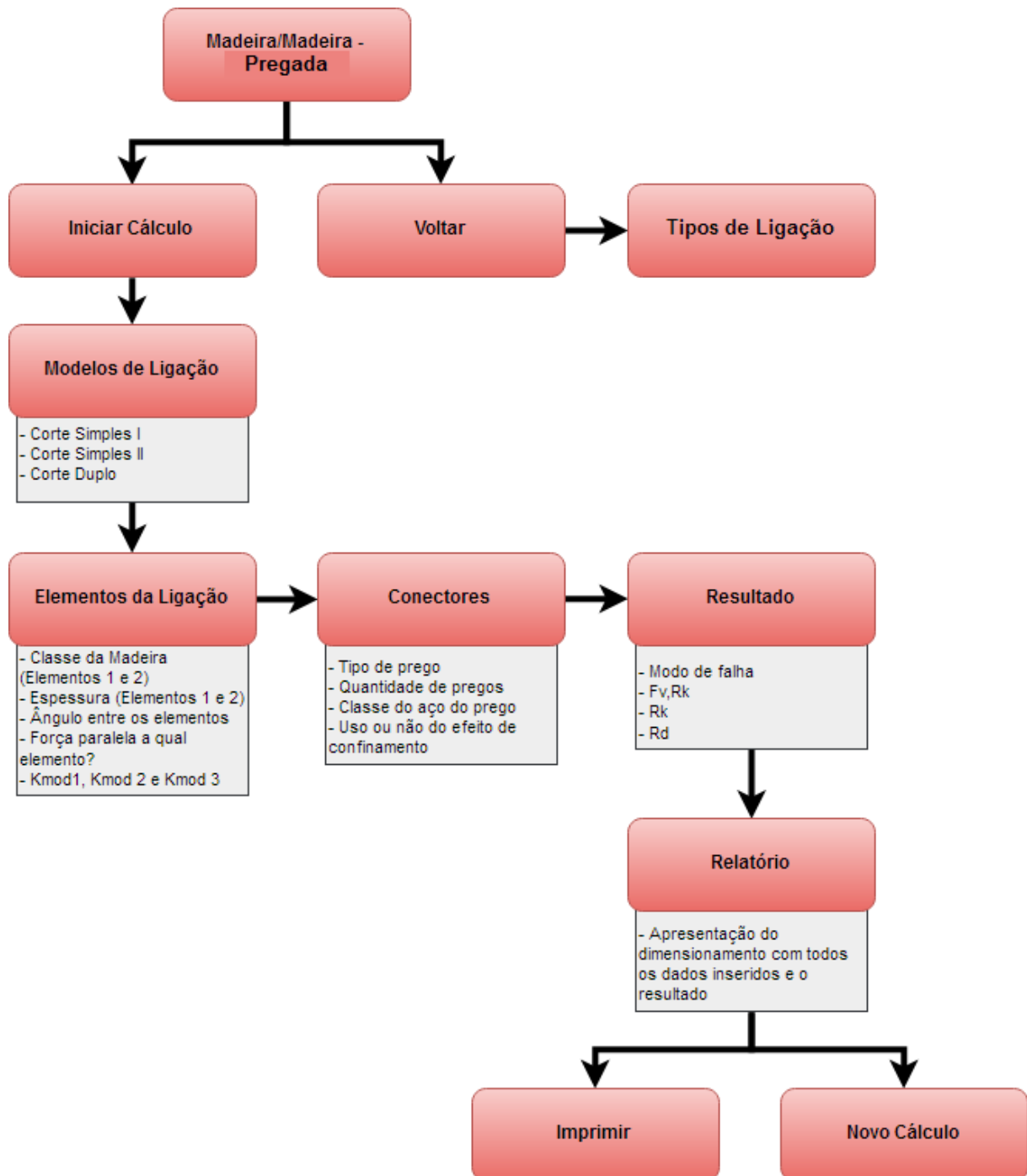


Figura 21 - Fluxograma para ligações entre elementos de madeira por pregos

Fonte: Autoria própria (2017).

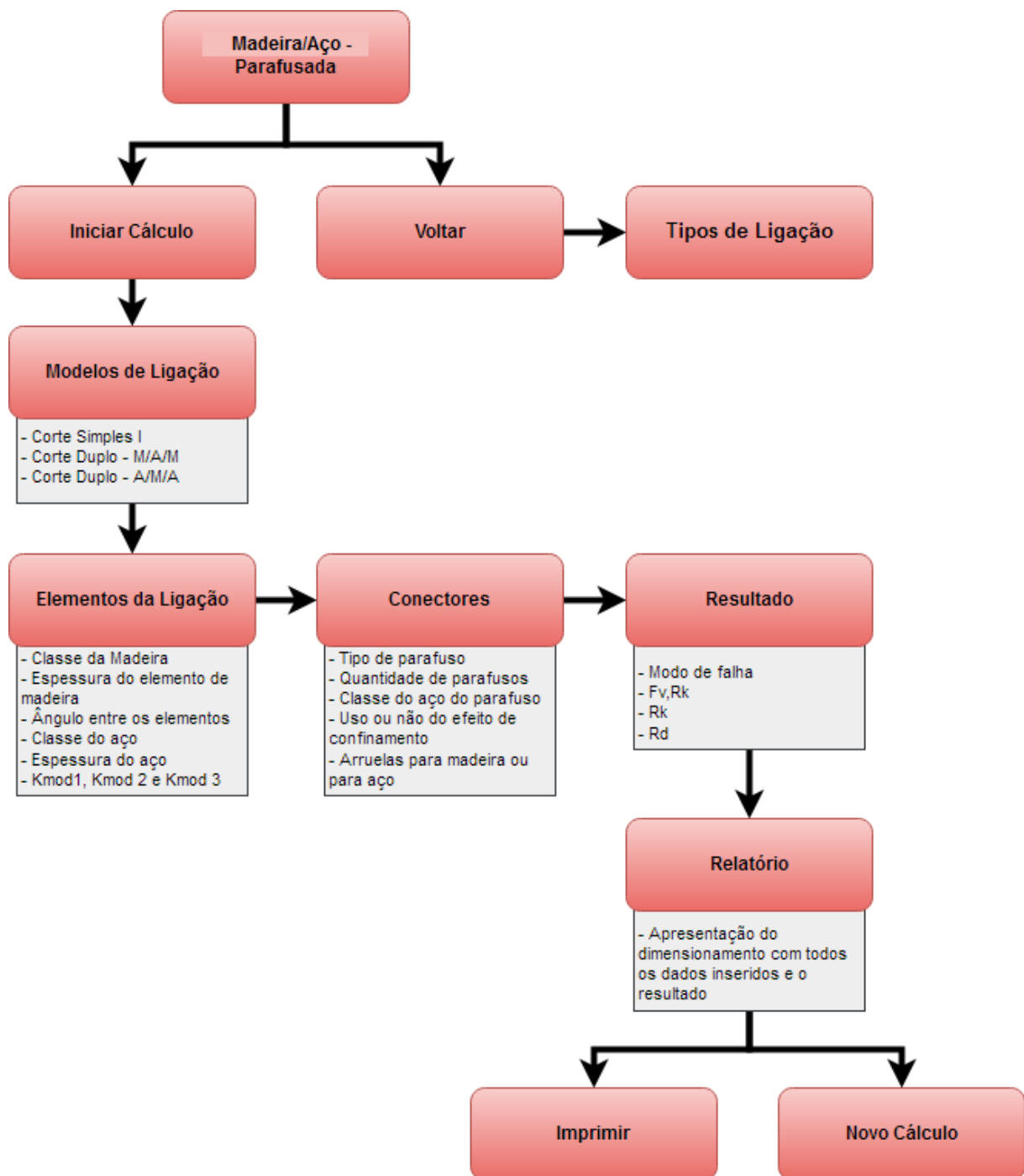


Figura 22 - Fluxograma para ligações entre elementos de madeira e aço por parafusos

Fonte: Autoria própria (2017).

5.2 CRIAÇÃO DE CLASSES VIEW

Consistiu na criação das interfaces e componentes, que foi realizada através do software NetBeans em três etapas:

- 1ª etapa – criação das telas e abas: foram criadas as telas de ajuda, tela de apresentação/sobre, tela inicial e telas principais com suas abas. As telas são, basicamente, o local onde ocorre a comunicação com o usuário.
- 2ª etapa – criação dos componentes: nesta fase foram criadas nas telas, os botões, caixas de seleção, textos e campos de texto. Estes elementos são responsáveis por levarem a informação do usuário ao código e vice-versa.
- 3ª etapa – atribuição de funções aos componentes: a cada componente criado anteriormente, será conferido um código e/ou configuração para que os mesmos realizem a função esperada.

5.3 CRIAÇÃO DE CLASSES MODEL

Nesta fase, foram criadas as classes para receber as variáveis necessárias para cada componente das interfaces, instanciando-as. Na prática, transformou-se cada componente em objeto com suas devidas características e determinou-se o caminho entre as classes atribuindo o percurso das informações.

5.4 CRIAÇÃO DE CLASSES CONTROLLER

Com as interfaces e componentes do software criados, realizou-se a criação das classes responsáveis pela implementação do método de cálculo ao código e verificações. Nesta etapa, o roteiro de cálculo foi transcrito para a linguagem computacional, criando ou vinculando as variáveis necessárias para o código, além de criar-se o código para a classe de verificação que além de verificar dados incorretos

ou campos vazios, é responsável por enviar cada dado informado pelo usuário ao local correto de armazenamento para sua posterior utilização nos cálculos.

5.5 LIMITAÇÕES DO SOFTWARE

Como dito anteriormente, o software apresenta a metodologia de cálculo da revisão da ABNT NBR 7190 (1997), o qual foi apresentado na seção 4.3. Entretanto, devido à elevada complexidade de criar-se um código computacional que transcreva exatamente todo o roteiro de cálculo, faça todas as verificações e solicite ao usuário as informações necessárias para realizar o dimensionamento, o software apresenta algumas limitações.

O software não possibilita a disposição geométrica dos conectores nas ligações e por essa razão não verifica os espaçamentos mínimos de norma, efeito de grupo e ruptura block shear. Além disso, o programa só faz verificações para ligações em corte simples ou duplo. Para ligações com múltiplas seções de corte é necessário analisar os resultados em cada um dos planos a fim de garantir a compatibilidade dos modos de ruptura.

5.6 TESTES PARA VALIDAÇÃO

Após desenvolvido o software, para verificar possíveis inconsistências, correções necessárias e validade de valores, foi resolvido um grande número de exercícios através do programa. Foi considerado finalizado quando os resultados apresentados pelo software passaram a não divergir mais dos resultados encontrados pela resolução manual.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este trabalho de conclusão de curso teve como resultado o software TCD (Timber Connections Design) – Versão 2.0, o qual realiza o dimensionamento de ligações em madeira com pinos metálicos utilizando a metodologia de cálculo que será proposta pela revisão da norma ABNT NBR 7190 (1997).

6.1 SOFTWARE TCD – TIMBER CONNECTIONS DESIGN

Como o programa tem foco prioritariamente didático, foi desenvolvido de modo a ser autoexplicativo e de fácil execução. Além disso, conta com tela de ajuda, barra de status, mensagens de auxílio ao posicionar o mouse sobre o elemento e manual de uso para o usuário.

Ao inicializar o programa, a primeira tela a aparecer será a tela de apresentação do programa conforme mostrado na Figura 24. Nesta tela, é mostrada a logo do programa, os logotipos dos apoiadores, uma breve apresentação do programa e termos de uso do mesmo seguidos de uma caixa de seleção onde o usuário deve preencher caso concorde com os mesmos. Caso o usuário concorde com os termos de uso, e conseqüentemente clique na caixa de seleção, ele deve clicar no botão “Iniciar” para que esta tela seja substituída pela tela inicial que pode ser vista na Figura 25. A tela de apresentação não voltará a aparecer enquanto o usuário não apagar o programa de seu computador. Se a caixa de seleção concordando com os termos não for preenchida, o programa não inicia.



Figura 23 – Tela de apresentação do software



Figura 24 – Tela inicial do software

Na tela inicial apresenta-se, novamente, a logo do programa além de acesso às telas de ajuda e sobre, e três botões que dão acesso a cada um dos tipos de ligação abrangidos pelo software. Ao clicar na palavra “Sobre” a tela de apresentação aparece ao usuário para fornecer uma breve explicação sobre o programa e seus termos, mas sem a caixa de seleção, conforme é apresentado na Figura 26. Caso o usuário decida fechar a tela, basta clicar no “x” no canto superior direito.



Figura 25 – Tela de apresentação sem caixa de seleção

Ao clicar na palavra “Ajuda”, a tela de ajuda aparece dando algumas opções ao usuário (Figura 27). Nesta tela, ao clicar no botão “Roteiros de Dimensionamento”, o usuário será direcionado a tela de roteiros (Figura 28), onde ao clicar sobre cada um dos botões será apresentado o roteiro de dimensionamento do tipo de ligação escolhido. Na tela de ajuda, ao clicar nos demais botões o usuário também terá acesso a uma lista com as normas utilizadas, ao manual de uso do software e a um documento onde são explicadas as limitações do software, ou seja, o que ele não considera. Os roteiros de dimensionamento podem ser encontrados no Apêndice A

deste trabalho, o manual de uso do software no Apêndice B, a relação de normas no Apêndice C e as limitações no Apêndice D.

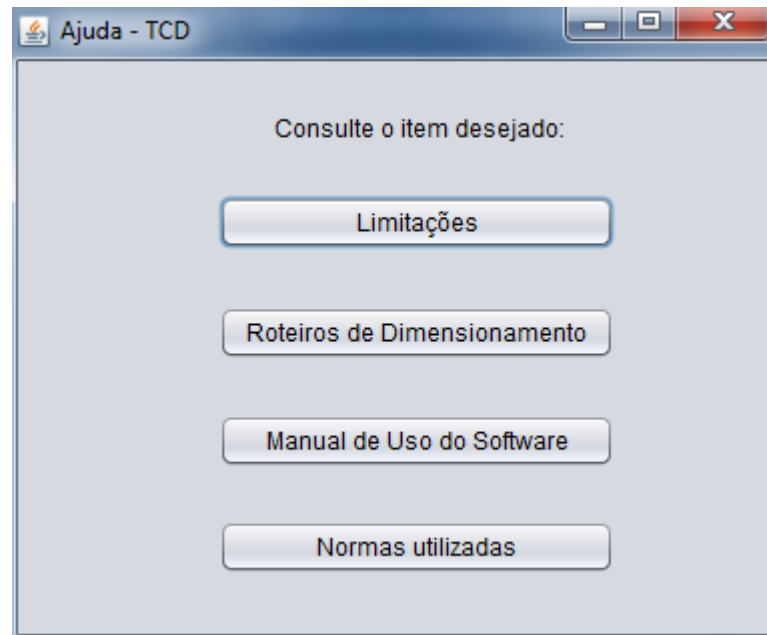


Figura 26 – Tela de ajuda do software

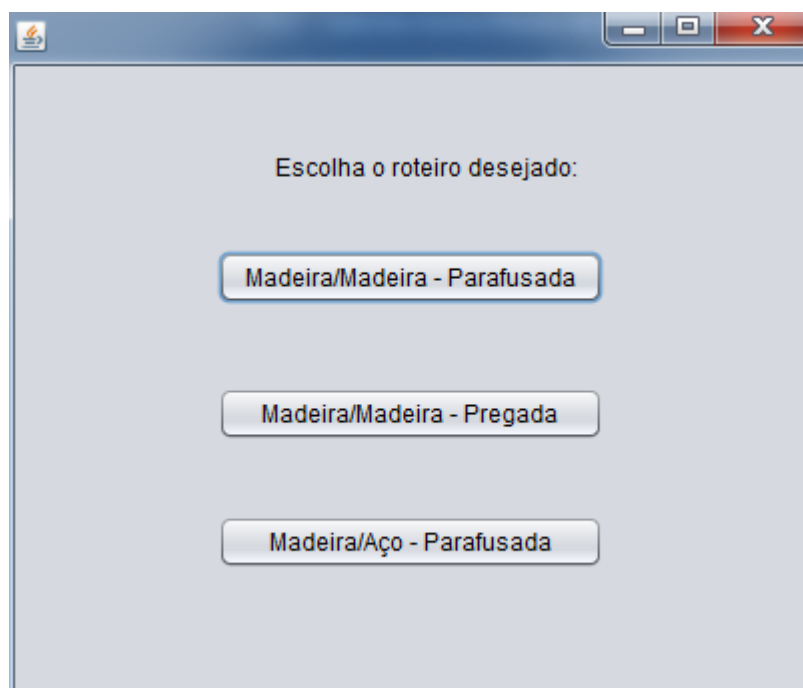


Figura 27 – Tela de roteiros do software

Ainda na tela inicial, o usuário encontrará três botões referentes a cada tipo de ligação abrangido pelo programa. Ao clicar sobre um deles, será direcionado a aba inicial do tipo de ligação escolhido. Todos os tipos de ligação apresentam a mesma quantidade de abas e sequência de informações a serem informadas, portanto, as demais figuras apresentadas serão apenas do tipo madeira/madeira - pregada e explicar-se-ão as diferenças que existem entre cada tipo.

Na aba inicial, chamada de “Início” (Figura 29), o usuário encontrará um botão “Iniciar Cálculo” e um botão “Voltar”. Ao clicar em “Voltar” retornará à tela inicial, e ao clicar em “Iniciar Cálculo”, será direcionado à próxima aba denominada “Modelos de ligação” (Figura 30).

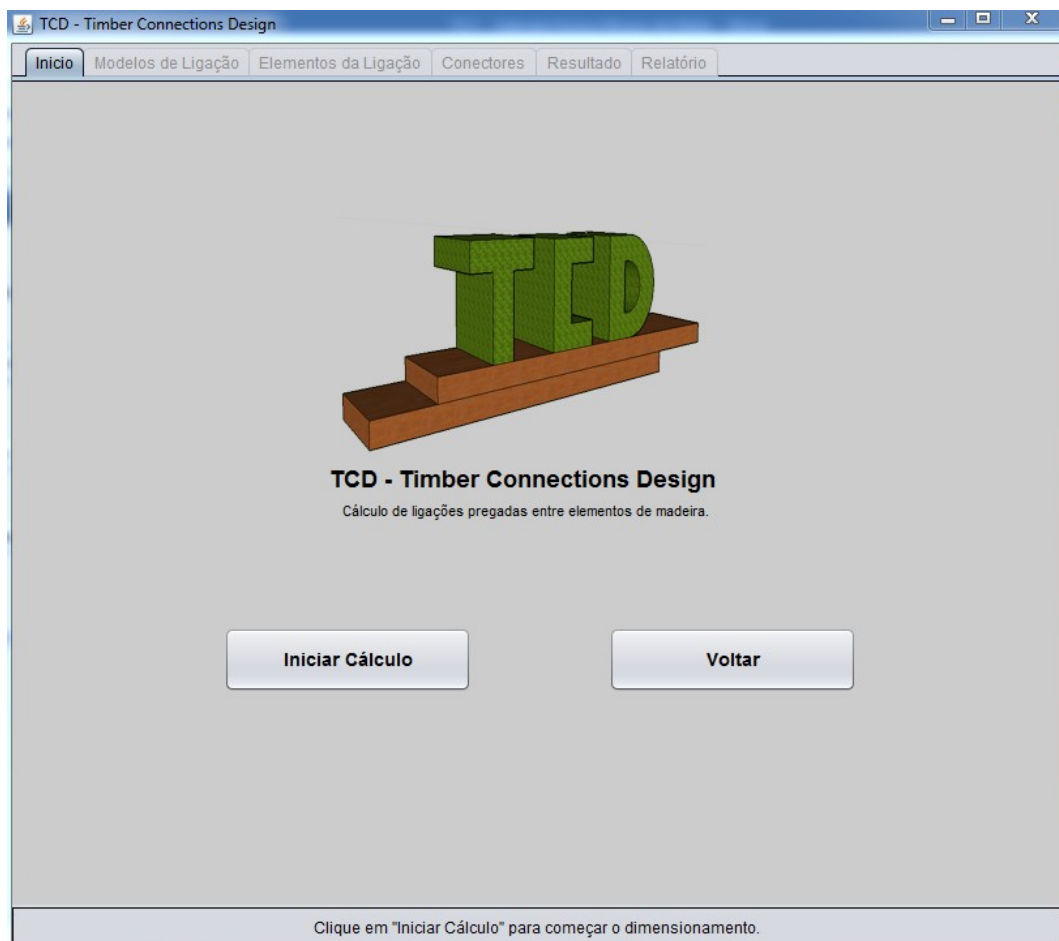


Figura 28 – Aba “Início”

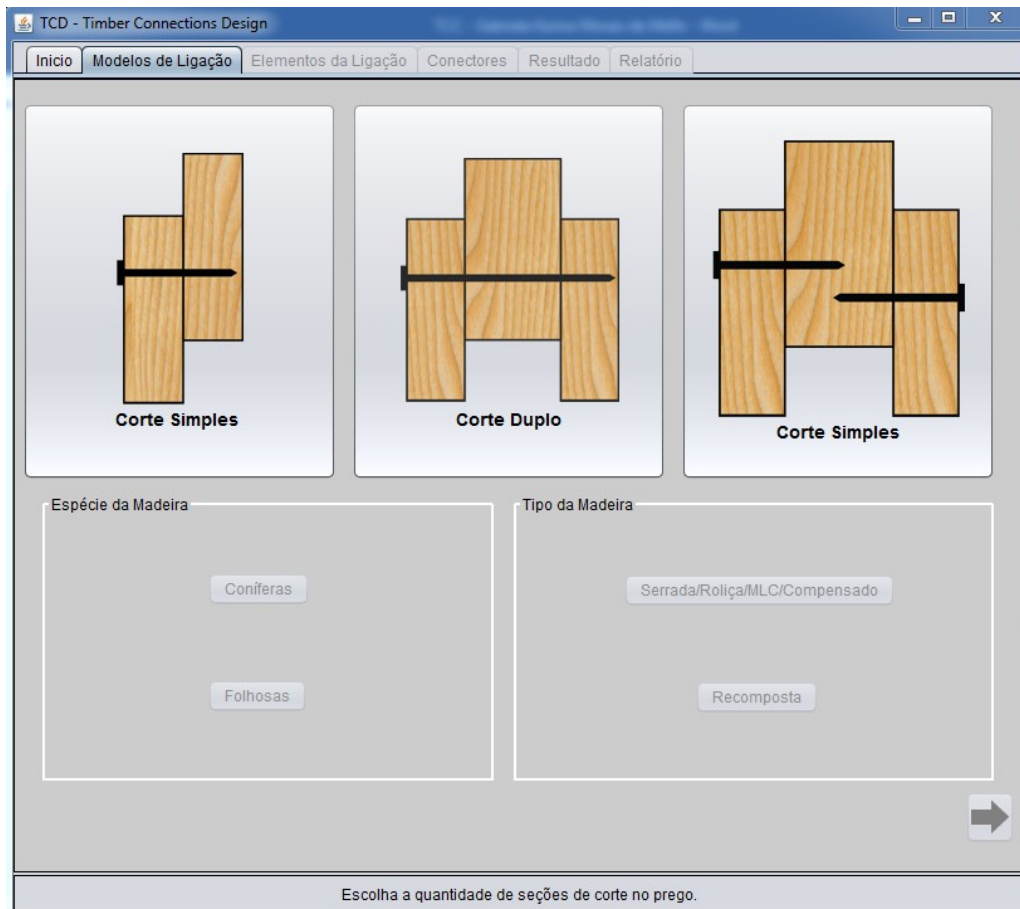


Figura 29 – Aba “Modelos de Ligação”

Nesta aba serão apresentados dois ou três botões com as configurações possíveis para o tipo de ligação, além de botões para escolher o tipo de madeira (Serrada ou Recompоста) e espécie (Conífera ou Folhosa). No caso do tipo de ligação madeira/madeira – parafusada aparecerão dois botões, e nos demais tipos aparecerão três. Os botões com as configurações têm a ver com o número de seções de corte no pino metálico e/ou disposição dos mesmos e/ou disposição dos elementos ligados. Os botões para a escolha de tipo da madeira e espécie, não são possíveis de selecionar antes de selecionar a configuração da ligação. Ao definir pela organização da ligação, serão liberados os botões para a escolha da espécie e em seguida os para a escolha do tipo da madeira. Ao escolher o tipo de madeira, o botão de avançar é liberado e o usuário deve clicar para passar à próxima aba, denominada “Elementos da Ligação” e apresentada na Figura 31.

TCD - Timber Connections Design

Início Modelos de Ligação **Elementos da Ligação** Conectores Resultado Relatório

Elemento 1

Classe da Madeira: Escolha a Classe da Madeira

fc0,k: (MPa) Densidade: (kg/m³)

fv0,k: (MPa) Ec0,m: (MPa)

Espessura (t1): Digite a espessura (mm)

Ângulo entre as peças: 0 (°)

A força indicada na figura é paralela às fibras do elemento 1? Sim

Elemento 2

Classe da Madeira: Escolha a Classe da Madeira

fc0,k: (MPa) Densidade: (kg/m³)

fv0,k: (MPa) Ec0,m: (MPa)

Espessura (t2): Digite a espessura (mm)

A força indicada na figura é paralela às fibras do elemento 2? Sim

Coeficientes

Classes de Carregamento (kmod1): Escolha o Kmod 1

Classe de Umidade (kmod2): Escolha o Kmod 2

Qualidade da Madeira (kmod3): Escolha o Kmod 3

Preencha todos os campos sem exceção.

Figura 30 – Aba “Elementos da Ligação”

Na aba “Elementos da Ligação” o usuário deverá preencher ou selecionar informações como: classe da madeira, classe do aço (tipo de ligação madeira/aço), espessura, ângulo entre as peças, posição da força (quando inclinado ou perpendicular) e coeficientes de modificação (Kmods). As informações que são definidas através de caixas de seleção, apresentam seus valores ou propriedades em espaços de texto logo abaixo ou ao lado das mesmas. Após todos os campos estarem preenchidos com valores válidos, o botão avançar é liberado e o usuário deve clicar nele para ser dirigido à próxima aba. A aba liberada é denominada “Conectores” e é apresentada na Figura 32.

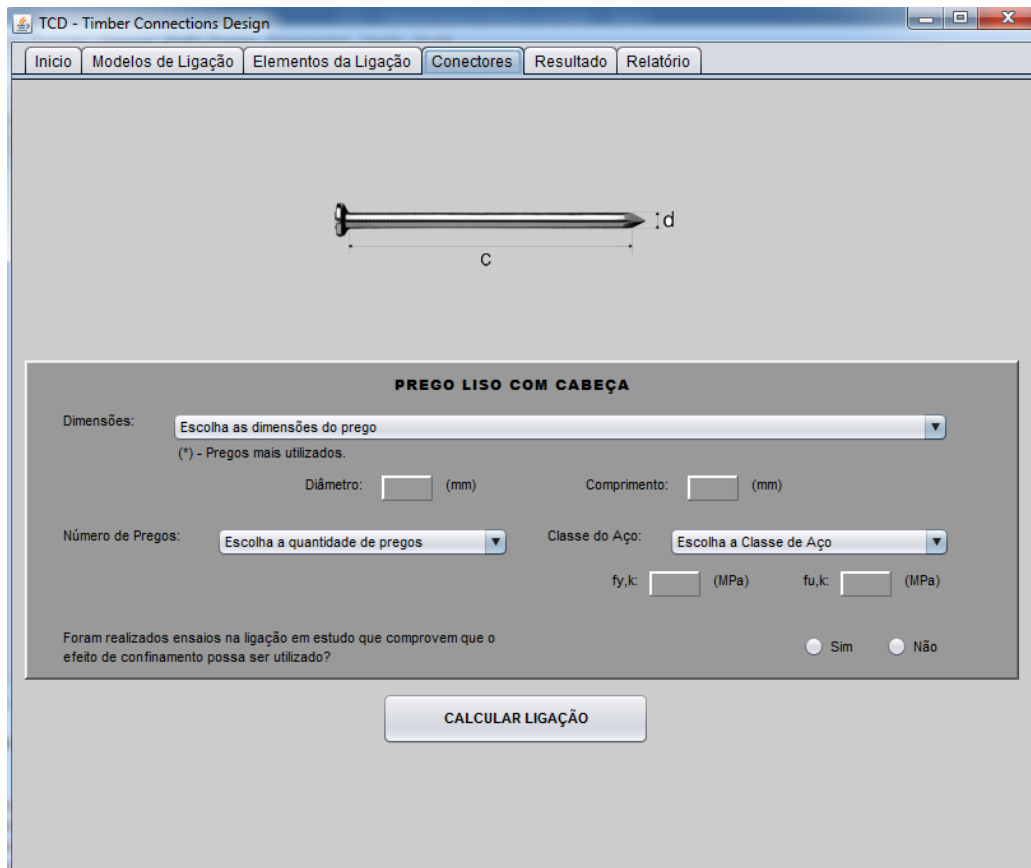


Figura 31 – Aba “Conectores”

Na aba “Conectores” o usuário deverá configurar os conectores de sua ligação selecionando opções nas caixas de seleção. As informações informadas serão: tipo de parafuso ou prego, quantidade de parafusos ou pregos, classe do aço do parafuso ou prego, utilização ou não do efeito de confinamento e tipo de arruela (dependerá do parafuso escolhido), para os tipos de ligação com parafusos. Algumas caixas de seleção apresentarão algumas características do elemento escolhido, que serão informadas em espaços de texto abaixo ou ao lado das mesmas. Com todas as caixas de seleção preenchidas com valores válidos, o usuário deverá clicar no botão “Calcular Ligação”.

Ao clicar no botão, o usuário será destinado à Aba “Resultados” (Figura 33), onde serão apresentados o modo de falha da ligação, assim como a resistência característica de uma seção de corte por parafuso ($F_{v,rk}$), resistência característica da ligação considerando o número de seções de corte e pinos metálicos (R_k) e resistência de cálculo da ligação (R_d). Nesta aba haverá um botão de avançar para que o usuário clique e seja direcionado para a aba “Relatório” (Figura 34).

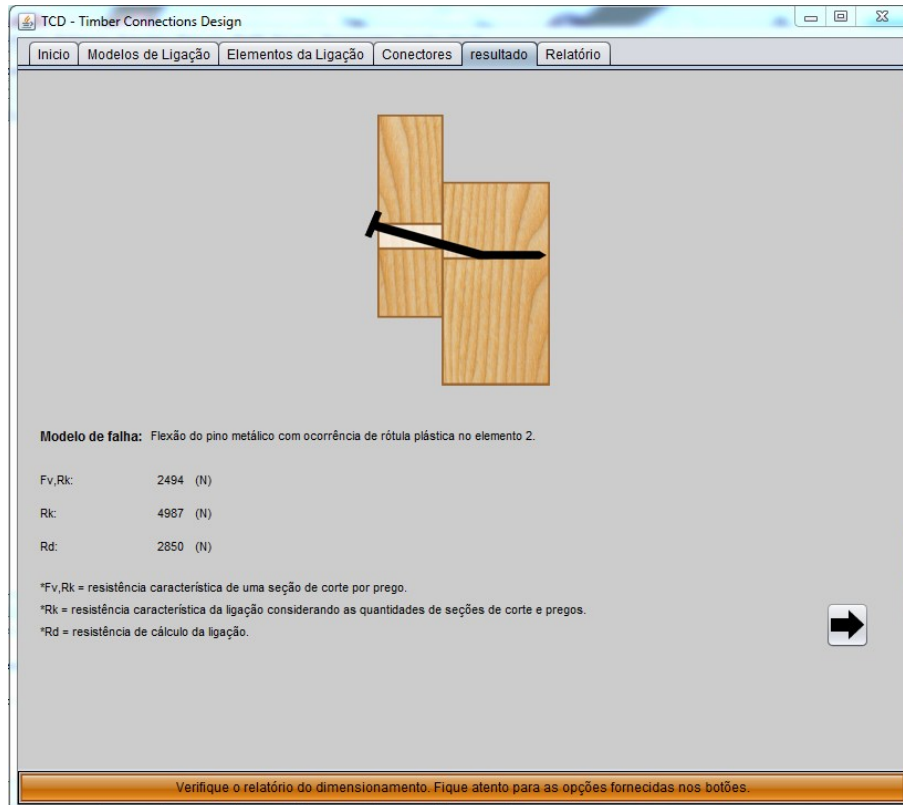


Figura 32 – Aba “Resultados”

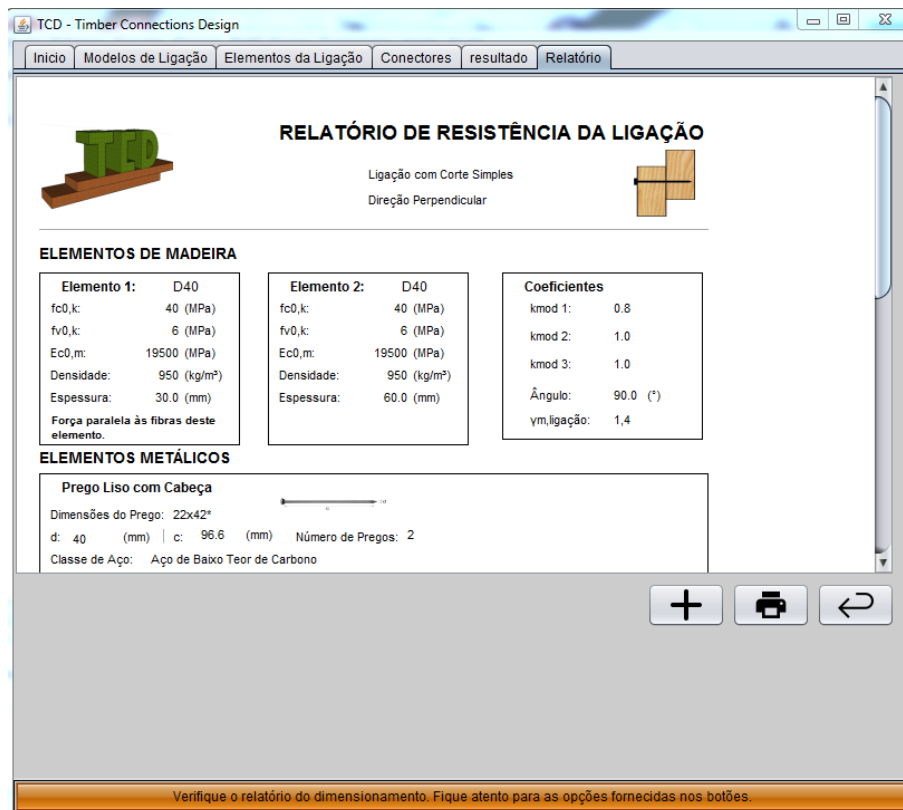


Figura 33 – Aba “Relatório”

Nesta aba, o usuário encontrará um relatório apresentando todas as informações escolhidas por ele assim como os resultados de todos os cálculos realizados. Além disso, ele encontrará ícones que possibilitarão que ele imprima o relatório (Figura 35), faça um novo cálculo (Figura 36) ou retorne à tela inicial (Figura 37).



Figura 34 – Ícone para imprimir o relatório



Figura 35 – Ícone para realizar novo cálculo



Figura 36 – Ícone para retornar à tela inicial

Durante todas as abas, o usuário encontrará uma barra de status situada na parte inferior que apresentará mensagens indicando o que deve fazer. As verificações dos dados são realizadas a cada dado inserido e ao ser constatado um dado não válido, mensagem aparecerá na tela e/ou barra de status (Figura 38) informando ao usuário o que houve, além do elemento mudar para a cor vermelha (Figura 39).

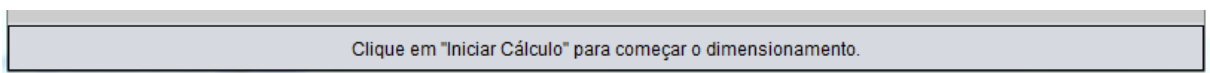


Figura 37 – Barra de status

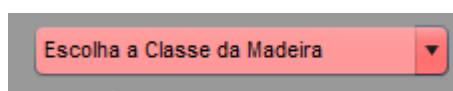


Figura 38 – Elemento com cor vermelha ao constatado inconsistência

6.2 EXEMPLOS PARA VALIDAÇÃO DO SOFTWARE

Após terminado a confecção do código, foram resolvidos cerca de 20 exercícios para conferir os cálculos e valores obtidos através do software. Considerou-se o trabalho finalizado ao não se constatar valores diferentes em nenhum dos exercícios resolvidos pelo software ou a mão. O Apêndice E apresenta uma simulação obtida através do software para cada tipo de ligação e suas respectivas resoluções a mão.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O software TCD (Timber Connections Design) – Versão 2.0, permite o dimensionamento ligações pregadas e parafusadas entre elementos de madeira, além de ligações parafusadas entre elementos de madeira e aço, utilizando o modelo proposto pela revisão da norma ABNT NBR 7190 (1997).

Este software é uma excelente ferramenta didática, uma vez que oferece campos autoexplicativos, mensagens de auxílio ao usuário, materiais de apoio e ajuda interativa e permite ao usuário que esclareça suas dúvidas e entenda os fenômenos envolvidos. Além de propiciar vantagens ao profissional de engenharia, ao fornecer o dimensionamento de ligações de maneira ágil e prática.

Os exemplos resolvidos mostram a validade dos resultados obtidos através do software, uma vez que não divergem dos obtidos através da resolução a mão.

Mais estudos numéricos e experimentais devem ser realizados a fim de comprovar a validade das considerações adotadas no desenvolvimento do modelo de cálculo para o país. O programa servirá de propulsor da divulgação do modelo proposto pela revisão da norma ABNT NBR 7190 (1997), uma vez que é o primeiro software brasileiro a usar tal metodologia.

REFERÊNCIAS

ARTBOIS SA. ArchiExpo. **Treliça de telhado em madeira / laminada colada / pré-fabricada.** Fotografia. [s.l]: [2000?]. Disponível em: <<http://www.archiexpo.com/pt/prod/artbois-sa/product-94214-911735.html>>. Acesso em: 09 mai. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190: Projeto Estruturas de Madeiras.** Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Revisão NBR 7190: Projeto estruturas de madeiras.** Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800: Projeto estruturas de aço e de estrutura mista de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.

CALIL JUNIOR, Carlito; LAHR, Francisco A. R.; DIAS, Antonio Alves. **Dimensionamento de Elementos Estruturais de Madeira.** Barueri – São Paulo: Manole Ltda, 2003.

CALIL NETO, C. **Ligações com Parafusos Auto-Atarraxantes sem Pré-furação para uso em Estruturas de Madeira.** 2014. 326 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

CARREIRA, Marcelo R. **Critérios para classificação visual de peças estruturais de pinus Sp.** 2003. 178f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

DEUSTCHES INSTITUT FÜR NURMING. DIN 440 – Washers – With square hole, especially for timber construction. Berlin, 2001.

DEUSTCHES INSTITUT FÜR NURMING. DIN 436 – Square washers for use in timber constructions. Berlin, 1990.

DEUSTCHES INSTITUT FÜR NURMING. DIN 125 – Product grade A washers with a hardness up to 250 HV designed for use with hexagon head bolts and nuts. Berlin, 1990.

DIAS, Alan. **Ligações em Estruturas de Madeira.** Carpintaria: blog estruturas de madeira. [s.l]: 2013. Disponível em: <http://estruturasdemadeira.blogspot.com.br/2013_02_01_archive.html>. Acesso em: 09 mai. 2017.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN ISO 898-1 – Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel – Part 1: Bolts, screws and studs. Brussels, 1999.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN ISO 4016 – Hexagon head bolt – Product grade C**. Brussels, 2000.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EUROCODE 5: Design of Timber Structures**. Brussels, 2004.

GERDAU. **Pregos**. Disponível em: <http://www.varejaodoferro.com.br/sol/imagens_clientes/catalogos/1/catalogo_5.pdf>. Acesso em: 09 mai. 2017.

HILÁRIO, Ricardo S. M. O. **Dimensionamento de Estruturas em Madeira: Metodologia e disposição regulamentares relativamente a ligações**. 2013. 67p. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil – Universidade de Lisboa, Lisboa, 2013.

JOHANSEN, K. W. **Theory of timber connections**. International association for Bridge and Structural Engineering. Zurich. Vol. 9. 1949.

JORISSEN, André. **Double shear timber connections with dowel type fasteners**. College voor Promoties aangewezen, Technische Universiteit Delft, Países Baixos, 1998.

JUCA, Sandro C. S. A relevância dos softwares educativos na educação profissional. *Ciências e Cognição*, v. 8. p. 22-28, 2006.

LEUTNER, Aline M. **Resistência de ligações com parafuso passante com porca e arruela em madeira**. 2013. 127f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2013.

MAIA, Bruna B. **Resistência de ligações pregadas em madeira**. 2016. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016.

MENDES, Paulo Miguel Ferreira de Casto. **Ligações em estruturas de madeira: Tecnologia e dimensionamento segundo o Eucódigo 5**. 1994. 165 f. Dissertação (Mestre em Construções de Edifícios) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Portugal, 1994.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de Madeira**. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

PORTEOUS, Jack; KERMANI, Abdy. **Structural timber design to Eurocode 5**. Blackwell Publishing, 2007.

REED, John A; AFJEH, Abdollah A. Developing interactive educational engineering software for the world wide web with java. **Computers & Education**. v. 30, iss. 3-4, p. 183-194, 1998. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131597000626>>. Acesso em: 29 mai. 2017.


ROSA, André. F. B. **Caracterização do comportamento das ligações coladas em estruturas de madeira**: Estudo da influência da temperatura. 2008. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2008.

SCHWANZ, Marcos V. **Elaboração de software educacional para dimensionamento de ligações em madeira com pinos metálicos segundo EUROCODE 5 (2008)**. 2014. 100 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2014.

SCHÖBER, Kay – Uwe; TANNERT, Thomas. Hybrid connections for timber structures. **European Journal of Wood and Wood Products**. [s.l]: v. 4, iss. 3, p. 369-377, mar. 2016, ISSN. 1436-736X. Disponível em: < [https://link-springer-com.ez48.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s00107-016-1024-3/fulltext.html](https://link.springer.com.ez48.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s00107-016-1024-3/fulltext.html)>. Acesso em: 08 mai. 2017.

WOOD SECOND CHANCE. **União Furo-Cavilha**. Fotografia. [s.l]: 2010. Disponível em: <<http://woodsecondchance.blogspot.com.br/2010/06/uniao-furo-cavilha.html>>. Acesso em: 09 mai. 2017.

APÊNDICE A – Modelo de Roteiro de dimensionamento de ligações em madeira



TCD – Timber Connections Design
Versão Educacional 2.0


Roteiro para Dimensionamento de Ligações entre Elementos de Madeira e Aço com Parafusos

1 VARIÁVEIS UTILIZADAS

| Variável | Descrição | Procedência |
|------------|---|---|
| $f_{0,1}$ | Força de compressão característica paralela às fibras do elemento 1 de madeira | Característica de classe de madeira |
| $f_{0,2}$ | Força de compressão característica paralela às fibras do elemento 2 de madeira | Característica de classe de madeira |
| t_1 | Espessura do elemento 1 de madeira | Determinado pelo projeto |
| t_2 | Espessura do elemento 2 de madeira | Determinado pelo projeto |
| Ângulo | Ângulo entre os elementos de madeira | Determinado pelo projeto |
| k_{mod1} | Coefficiente de modificação que leva em consideração as classes de carregamento | Duração do carregamento |
| k_{mod2} | Coefficiente de modificação que leva em consideração as classes de unidade | Tor de unidade e tipo de madeira utilizado |
| k_{mod3} | Coefficiente de modificação que leva em consideração a qualidade de madeira | Método de classificação da qualidade de madeira |
| d | Diâmetro do parafuso | Tipo do parafuso |
| n | Número de parafusos utilizados | Determinado pelo projeto |
| $f_{t,k}$ | Força de tração característica do parafuso | Classe do aço do parafuso |

2 MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO

O método de dimensionamento a seguir, utiliza as equações apresentadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas através da revisão da norma ABNT NBR 7190 (1997). O documento normativo não determina uma



TCD – Timber Connections Design
Versão Educacional 2.0

seqüência de cálculo, porém, por questões de agilidade, será apresentada uma ordem considerada pelos desenvolvedores do software como mais adequada.

2.1 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS MATERIAIS – VALORES DE CÁLCULO

A revisão da norma ABNT NBR 7190 (1997) permite que o dimensionamento seja realizado através das Classes de Resistência ou Espécies, porém, no software ocorre por meio da primeira opção apenas. Portanto, seguem as tabelas apresentadas na norma que especificam valores de propriedades para o dimensionamento por Classes de Resistência.

Tabela 1 - Classe de resistência das Coníferas


| Coníferas (valores na condição padrão de referência U = 12%) | | | | |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------------------------|
| Classes | $f_{0,1}$ (MPa) | $f_{0,2}$ (MPa) | $E_{0,1}$ (MPa) | $\rho_{0,1500}$ (kg/m ³) |
| C20 | 20 | 4 | 9500 | 500 |
| C25 | 25 | 5 | 9500 | 550 |
| C30 | 30 | 6 | 14500 | 600 |

Fonte: NBR 7190 (ABNT,2011).

Tabela 2 - Classe de resistência das Folhosas

| Folhosas (valores na condição padrão de referência U = 12%) | | | | |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------------------------|
| Classes | $f_{0,1}$ (MPa) | $f_{0,2}$ (MPa) | $E_{0,1}$ (MPa) | $\rho_{0,1500}$ (kg/m ³) |
| D20 | 20 | 4 | 9500 | 650 |
| D30 | 30 | 5 | 14500 | 800 |
| D40 | 40 | 6 | 19500 | 950 |
| D50 | 50 | 7 | 24500 | 970 |
| D60 | 60 | 8 | 24500 | 1000 |

Fonte: NBR 7190 (ABNT,2011).



TCD – Timber Connections Design
Versão Educacional 2.0

Os valores apresentados nas tabelas são os característicos.
Para calcular os valores de resistência de cálculo, utiliza-se a equação a seguir:

$$f_{c,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,k}}{\gamma_m}$$

Equação 1 – Resistência de Cálculo

Onde:


- $f_{c,d}$ = resistências de cálculo (pode assumir valores de resistência à compressão, tração, cisalhamento, etc.);
- $f_{c,k}$ = é a resistência característica da madeira definida por meio de classes de resistência;
- $\gamma_m = 1,4$ (para resistência à compressão paralela ou normal da madeira);
- $\gamma_m = 1,8$ (para resistência à tração paralela ou cisalhamento da madeira).

O valor conhecido como k_{mod} é o produto de três coeficientes de modificação. Seus valores são dados no Quadro 1 e Tabelas 4, 5 e 6. Cada k_{mod} significa:

- k_{mod1} = refere-se a classe de carregamento e o tipo de material;
- k_{mod2} = refere-se a classe de umidade e o tipo de material;
- k_{mod3} = refere-se a qualidade da madeira e ao método utilizado na classificação da mesma.

$$k_{mod} = k_{mod1} \cdot k_{mod2} \cdot k_{mod3}$$

Equação 2 – Composição do Coeficiente de Modificação



TCD – Timber Connections Design
Versão Educacional 2.0

| Classes de carregamento | Ação variável principal da combinação | | Tipos de madeira | |
|-------------------------|---------------------------------------|--|--|--------------------|
| | Duração acumulada | Ordem de grandezas da duração acumulada da ação característica | Madeira serrada Madeira roliça Madeira laminada colada Madeira compensada | Madeira recomposta |
| Permanente | Permanente | Vida útil da construção | 0,90 | 0,30 |
| Longa duração | Longa duração | Mais de seis meses | 0,70 | 0,45 |
| Méda duração | Méda duração | Uma semana a seis meses | 0,90 | 0,65 |
| Curta duração | Curta duração | Menos de uma semana | 0,90 | 0,90 |
| Instantânea | Instantânea | Muito curta | 1,10 | 1,10 |

Quadro 1 - Definição de classes de carregamento e valores de kmod1
Fonte: NBR 7190 (ABNT, 2011).

| Classes de carregamento | Exemplos |
|-------------------------|---|
| Permanente | Peso próprio |
| Longa duração | Reservatórios de água Carga de armazenamento |
| Méda duração | Sobrecarga geral de piso |
| Curta duração | Neve Sobrecarga de manutenção de cobertura |
| Instantânea | Vento Explosão Cargas de impacto |

Quadro 2 – Exemplos práticos das classes de carregamento
Fonte: Adaptado Porteous e Karami (2007).



TCD – Timber Connections Design
Versão Educacional 2.0

Tabela 3 - Classes de umidade

| Classes de umidade | Umidade relativa do ambiente U_{amb} | Umidade de equilíbrio de madeira U_{eq} |
|--------------------|--|---|
| 1 | $U_{amb} \leq 65\%$ | 12 % |
| 2 | $65\% < U_{amb} \leq 75\%$ | 15 % |
| 3 | $75\% < U_{amb} \leq 85\%$ | 18 % |
| 4 | $U_{amb} > 85\%$ durante longos períodos | $\geq 25\%$ |

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 2011).

Tabela 4 - Valores do Knot 2

| Classes de umidade | Madeira serrada | |
|--------------------|---|--------------------|
| | Madeira roliça Madeira laminada colada Madeira compensada | Madeira recomposta |
| (1) | 1,00 | 1,00 |
| (2) | 0,90 | 0,85 |
| (3) | 0,80 | 0,80 |
| (4) | 0,70 | 0,80 |

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 2011).

Para madeira serrada submersa, adote-se o valor de 0,65.



TCD – Timber Connections Design
Versão Educacional 2.0

Tabela 5 - Valores de Knot 3 para Coníferas

| Classificação | Classes | Tipos de classificação | |
|-----------------|---------|------------------------|-------------------|
| | | Apenas visual | Visual e mecânica |
| Densas (D) | SE-D | 0,70 | 0,80 |
| | S1-D | 0,80 | 0,80 |
| | S2-D | 0,50 | 0,70 |
| | S3-D | 0,40 | 0,60 |
| Classificação | Classes | Tipos de classificação | |
| | | Apenas visual | Visual e mecânica |
| Não-Densas (ND) | SE-ND | 0,80 | 0,80 |
| | S1-ND | 0,50 | 0,70 |
| | S2-ND | 0,40 | 0,60 |
| | S3-ND | 0,30 | 0,50 |

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 2011).

Tabela 6 - Valores de Knot 3 para Folhosas


| Classes | Tipos de classificação | |
|---------|------------------------|-------------------|
| | Apenas visual | Visual e mecânica |
| SE | 0,80 | 1,00 |
| S1 | 0,85 | 0,85 |
| S2 | 0,80 | 0,70 |
| S3 | 0,75 | 0,65 |

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 2011).

Para madeira folhosa não-classificada, adote-se o valor de 0,70.

| Diâmetro (mm) | <0,64 | 0,65 | 1,27 | 1,59 | 1,91 | 2,22 | 2,54 | 3,18 | 3,81 | 4,45 | 5,08 | >7,62 |
|---------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Coefficiente | 2,5 | 1,95 | 1,68 | 1,52 | 1,41 | 1,33 | 1,27 | 1,19 | 1,14 | 1,1 | 1,07 | 1 |

Quadro 3 - Coeficiente de
Fonte: NBR 7190 (ABNT, 2011).



TCD – Timber Connections Design
Versão Educacional 2.0

| Especificação do pino metálico | | F_u (MPa) | F_y (MPa) | Diâmetro nominal mínimo |
|---|------------------|----------------|----------------|-------------------------------|
| Preço comum | Linha com cabeça | 600 | 300 | $d \geq 3 \text{ mm}$ |
| Parafuso passante padrão ASTM | A307 | 250 | 415 | $d \geq 3/8 \text{ pol}$ |
| | A490 | 695 | 1005 | ou $d \geq 10 \text{ mm}$ |
| Parafuso passante padrão NBR ISO 199-1 | Classe 4.5 | 235 | 400 | |
| | Classe 5.8 | 640 | 830 | $d \geq 10 \text{ mm}$ |
| | Classe 10.9 | 930 | 1000 | |
| Parafuso de rosca sobreposta padrão NBR1502 | | 250 | 415 | $d \geq 6 \text{ mm}$ |

Quadro 4 – Características dos pinos metálicos

2.2 CÁLCULO DO VALOR CARACTERÍSTICO DA FORÇA DE EMBUTIMENTO (f_{eA}):

Primeiramente, deve-se calcular os valores característicos das forças de embutimento dos elementos 1 e 2 de madeira. Para isso, utiliza-se as variáveis $f_{c,11}$ e $f_{c,12}$ respectivamente. Se a classe do elemento de madeira 1 for igual à classe do elemento de madeira 2, temos que $f_{c,11} = f_{c,12}$.


$$f_{eA} = f_{cA}$$

Equação 3 – Força de embutimento paralela às fibras do elemento de madeira

$$f_{eA} = 0,25 \cdot f_{cA} \cdot \alpha$$

Equação 4 – Força de embutimento perpendicular às fibras do elemento de madeira

Sendo:
 $f_{c,11}$ = valor característico de compressão paralelo às fibras;
 $f_{c,12}$ = valor característico de compressão perpendicular às fibras;
 α = coeficiente indicado no Quadro 3.



TCD – Timber Connections Design
Versão Educacional 2.0

$$f_{eA} = \frac{f_{c,11} \cdot f_{c,12}}{f_{c,11} \cdot \cos^2 \alpha + f_{c,12} \cdot \sin^2 \alpha}$$

Equação 5 – Força de embutimento inclinada às fibras do elemento de madeira

Sendo:
 $f_{c,11}$ = valor característico de compressão paralelo às fibras;
 $f_{c,12}$ = valor característico de compressão perpendicular às fibras;
 α = ângulo entre os elementos.

2.3 CÁLCULO DO COEFICIENTE DE RELAÇÃO ENTRE OS VALORES DE EMBUTIMENTO DOS ELEMENTOS DE MADEIRA (β)

$$\beta = \frac{f_{e,12}}{f_{e,11}}$$

Equação 6 – Coeficiente de Relação entre as Forças de Embutimento dos Elementos de Madeira

Sendo:
 $f_{e,11}$ = valor característico da força de embutimento do elemento 1 de madeira;
 $f_{e,12}$ = valor característico da força de embutimento do elemento 2 de madeira;

2.4 CÁLCULO DO NÚMERO EFETIVO DE PARAFUSOS NA LIGAÇÃO

2.4.1 Se número de parafusos em linha da ligação for maior que 8

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

Equação 7 – Número Efetivo de Parafusos

Em que:



TCD – Timber Connections Design

Versão Educacional 2.0

n_0 = número efetivo de parafusos resistentes;
 n = número de parafusos.

2.5 CÁLCULO DO EFEITO DE CONFINAMENTO

Recomenda-se que a contribuição do efeito de confinamento só deva ser considerada após investigação experimental que comprove o fenómeno. A contribuição do efeito de confinamento deve ser limitada ao percentual de 25% para parafusos pesantes com porcas e arruelas. Para o mesmo caso, o valor $F_{ax,Rk}$ pode ser estimado pelo menor valor dentre a resistência de tração do parafuso e a resistência ao embutimento da arruela na madeira.

- Devido à resistência à tração no pino metálico:

$$F_{ax,Rk} = 0,75 \frac{n d^2}{4} f_{u,k}$$

Equação 8 – Efeito de Corte devido à Resistência à Tração

- Devido à resistência ao embutimento da arruela na madeira:

$$F_{ax,Rk} = \left(\frac{n d^2}{4} - \frac{n d_1^2}{4} \right) 3, f_{e,k}$$

Equação 9 – Efeito de Corte devido ao Embutimento da Arruela



TCD – Timber Connections Design

Versão Educacional 2.0

O valor de $F_{ax,Rk}$ será o menor entre os calculados anteriormente, e deverá ser levado em consideração somente se, seu valor dividido por 4, for menor que 25% da parcela de Johansen. Caso seja levado em consideração, seu valor dividido por 4 será somado a parcela de Johansen. Caso contrário, considera-se a parcela de Johansen somada a 25% de seu próprio valor.

$$F_{ax,Rk} = 0$$

Equação 9 – Efeito de corte quando não considerado

2.6 DETERMINAÇÃO DO MOMENTO RESISTENTE DO PARAFUSO


$M_{y,k}$ é o momento resistente do parafuso à flexão (N.mm); $f_{u,k}$ é a resistência última do aço do parafuso à tração (N/mm²); d é o diâmetro do parafuso (mm).

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^3$$

Equação 10 – Momento Resistente do Parafuso

2.7 CÁLCULO DAS RESISTÊNCIAS CARACTERÍSTICAS DE UMA SEÇÃO DE CORTE DE UM PARAFUSO

Escolhe-se o menor valor das equações abaixo, calculadas para uma seção ou duas seções de corte.



TCD – Timber Connections Design
Versão Educacional 2.0

- Para ligações com chapas finas em corte simples

Modo de falha (a) $F_{v,2k} = 0,4 \cdot f_{v1,2} \cdot t_1 \cdot d$

Modo de falha (b) $F_{v,2k} = 1,15 \cdot \left[\sqrt{2 \cdot M_{y,2k} \cdot f_{v1,2} \cdot d} \right] + \frac{F_{v,2k}}{4}$

- Para ligações com chapas grossas em corte simples

Modo de falha (c) $F_{v,2k} = f_{v1,2} \cdot t_1 \cdot d$

Modo de falha (d) $F_{v,2k} = f_{v1,2} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[2 + \frac{4 \cdot M_{y,2k}}{f_{v1,2} \cdot d \cdot t_1^2} - 1 \right] + \frac{F_{v,2k}}{4}$

Modo de falha (e) $F_{v,2k} = 2,3 \cdot \left[\sqrt{M_{y,2k} \cdot f_{v1,2} \cdot d} \right] + \frac{F_{v,2k}}{4}$


- Para ligações com chape metálica central de qualquer espessura, em dupla seção de corte

Modo de falha (f) $F_{v,2k} = f_{v1,2} \cdot t_1 \cdot d$

Modo de falha (g) $F_{v,2k} = f_{v1,2} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[2 + \frac{4 \cdot M_{y,2k}}{f_{v1,2} \cdot d \cdot t_1^2} - 1 \right] + \frac{F_{v,2k}}{4}$

Modo de falha (h) $F_{v,2k} = 2,3 \cdot \left[\sqrt{M_{y,2k} \cdot f_{v1,2} \cdot d} \right] + \frac{F_{v,2k}}{4}$

- Para ligações com duas chapas laterais caracterizadas como finas, em corte duplo



TCD – Timber Connections Design
Versão Educacional 2.0

Modo de falha (i) $F_{v,2k} = 0,5 \cdot f_{v2,1} \cdot t_2 \cdot d$

Modo de falha (k) $F_{v,2k} = 1,15 \cdot \left[\sqrt{2 \cdot M_{y,2k} \cdot f_{v2,1} \cdot d} \right] + \frac{F_{v,2k}}{4}$

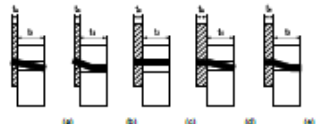
- Para ligações com duas chapas laterais caracterizadas como grossas, em corte duplo


Modo de falha (l) $F_{v,2k} = 0,5 \cdot f_{v2,1} \cdot t_2 \cdot d$

Modo de falha (m) $F_{v,2k} = 2,3 \cdot \left[\sqrt{M_{y,2k} \cdot f_{v2,1} \cdot d} \right] + \frac{F_{v,2k}}{4}$

Onde t_1 é a menor espessura dentre os elementos de madeira laterais, para os casos em corte simples e corte duplo, t_2 é a espessura do elemento de madeira central para os casos em corte duplo, $f_{v1,2}$ e $f_{v2,1}$ referem-se à resistência ao embutimento dos elementos de madeira 1 e 2, respectivamente, $M_{y,2k}$ é o momento característico resistente do parafuso. Os modelos de falha podem ser vistos na Figura 1.

Figura 1 - Modos de falha para determinação da força característica de ligações com pinos metálicos e chapas de aço





TCD – Timber Connections Design
Versão Educacional 2.0



(a) (b) (c) (d) (e) (f) (g)

2.8 CÁLCULO DAS RESISTÊNCIAS CARACTERÍSTICAS DA LIGAÇÃO

A resistência característica da ligação é definida por:

$$R_k = F_{t,Rk} \cdot n_{ef} \cdot n_p$$


Equação 10 – Resistência característica de ligação

Onde:

- n_{ef} = refere-se à quantidade de seções de corte por pino metálico;
- n_p = número efetivo de pinos por ligação;
- $F_{t,Rk}$ = resistência característica de um pino, correspondente a uma dada seção de corte.

2.9 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE CÁLCULO DA LIGAÇÃO

O valor de cálculo da resistência de ligação é definido a partir do valor característico da resistência de ligação, pela equação:



TCD – Timber Connections Design
Versão Educacional 2.0

$$R_d = F_{t,Rk} \cdot n_{ef} \cdot n_p \cdot \frac{R_k}{\gamma_{Mj}}$$

Equação 11 – Resistência de cálculo de ligação

O valor do coeficiente de minoração das propriedades de resistência de ligação γ_{Mj} é igual a 1,4.

OBSERVAÇÕES:

No dimensionamento de ligações com o uso de conectores em aço não se deve tomar valor de k_{ser} superior a 1, mesmo para combinação de ações de duração instantânea.

APÊNDICE B – Manual de uso do software



TCD – Timber Connections Design

Versão Educacional 2.0

Manual de uso do software

> Executando o programa

Para executar o software TCD (Timber Connections Design) o usuário deve ter instalado em seu computador o pacote JDK (Java Development Kit), nas versões 6, 7 ou 8.

O usuário deve abrir a pasta nomeada "TCD", para encontrar um arquivo no formato .JAR, com o nome TCD – Versão 2.0". Clicando duas vezes no arquivo mencionado, o usuário conseguirá executar e utilizar o programa.

> Tela de apresentação

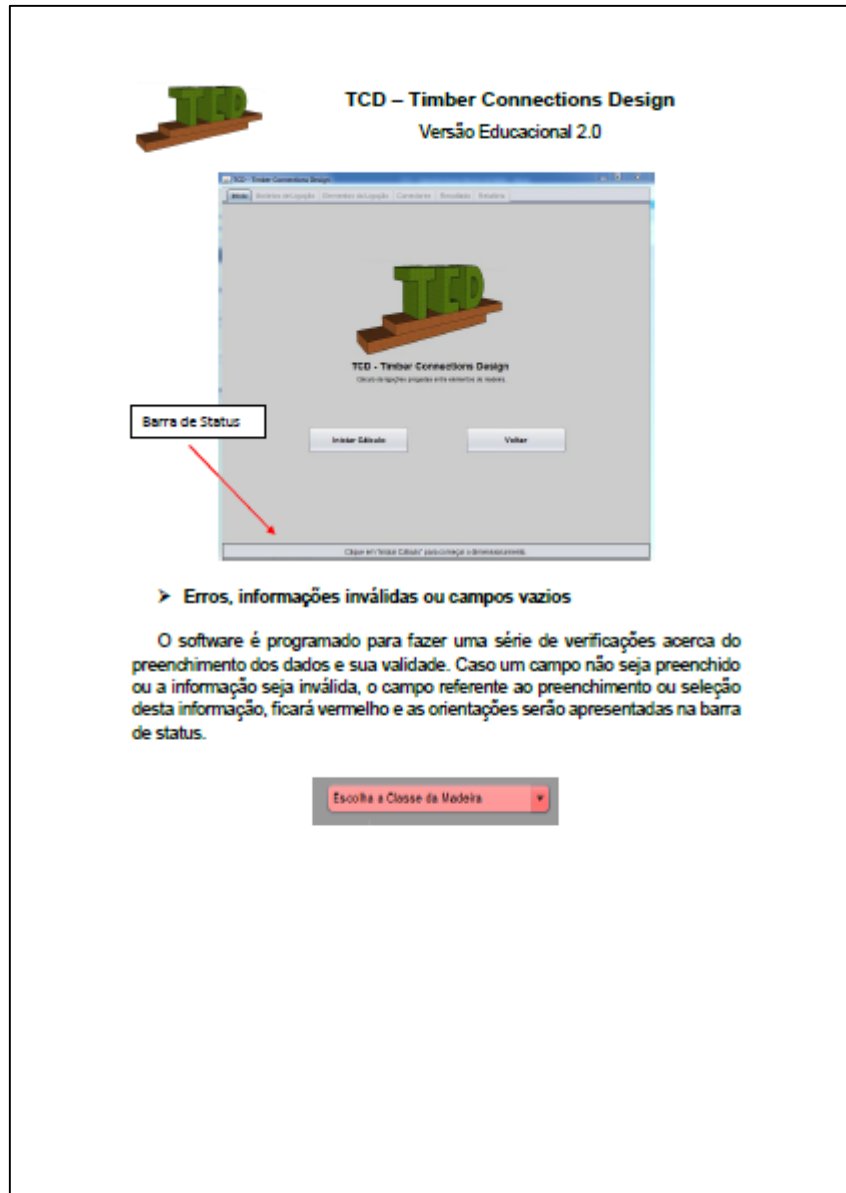
Ao executar o software, o usuário se deparará com a tela de apresentação. Além de apresentar o programa e isentar os autores do uso indevido do programa, nesta tela o usuário deverá clicar se concorda ou não com os termos. Caso o usuário clique em "Li e concordo com os termos", será direcionado a próxima tela e nas próximas utilizações do software, a mesma não aparecerá novamente. Se não, o programa não dará sequência às próximas telas e o usuário não poderá utilizar o mesmo.

> Ajuda e Sobre

Caso o usuário deseje saber informações sobre o software ou precise de alguma ajuda, ele poderá acessar na tela inicial. Nesta tela, o usuário encontrará a tela de sobre e ajuda. Na tela sobre, o usuário encontrará a mesma tela de apresentação sem mais a opção de "Li e concordo com os termos". Na tela de ajuda, o usuário poderá consultar os roteiros de dimensionamento, normas utilizadas, limitações do programa e ao manual de uso do software.

> Barra de Status

Após selecionar o tipo de ligação, o usuário será destinado às telas relativas ao preenchimento das informações necessárias para o dimensionamento. Nestas telas, na parte inferior há a barra de status onde o usuário encontrará todas as informações pertinentes ao preenchimento correto dos dados e ordem a ser seguida.



APÊNDICE C – Relação de normas utilizadas



TCD – Timber Connections Design

Versão Educacional 2.0

Normas Utilizadas

AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS. D245-93 Standard Practice for Establishing Structural Grades and Related Allowable for visually Graded Lumber. West Conshohoken, PA: 1993.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS Revisão NBR 7190: Projeto estruturas de madeiras. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS Revisão NBR 7190: Projeto estruturas de madeiras. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800: Projeto estruturas de aço e de estrutura mista de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2004.

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION. EUROCODE 5: Design of Timber Structures. Brussels, (2004).

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (1988). DIN 436 - Square washers for use in timber constructions. Berlin, (1990).

_____. DIN 440 Washers - With square hole, especially for timber constructions. Berlin, (2001).

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. ISO 225 - Fasteners - Bolts, screws, studs and nuts - Symbols and descriptions of dimensions. Brussels, (2010).

_____. ISO 898-1 - Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel – Part 1: Bolts, screws and studs. Brussels, (1999).

_____. ISO 4016 – Hexagon head bolt – Product grade C. Brussels, (2000).

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN 125 – Product grade A washers with a hardness up to 250 HV designed for use with hexagon head bolts and nuts. Berlin, 1990.

APÊNDICE D – Limitações do software



TCD – Timber Connections Design Versão Educacional 2.0

Limitações do Software

O software não possibilita a disposição geométrica dos conectores nas ligações e por essa razão não verifica os espaçamentos mínimos de norma, efeito de grupo e ruptura block shear. Além disso, o programa só faz verificações para ligações em corte simples ou duplo. Para ligações com múltiplas seções de corte é necessário analisar os resultados em cada um dos planos a fim de garantir a compatibilidade dos modos de ruptura.

APÊNDICE E – Exemplo de utilização do software

LIGAÇÃO MADEIRA/MADEIRA – PARAFUSADA: CORTE SIMPLES:

Realizar o cálculo da ligação com 4 parafusos M10 – Classe 4.6 e arruelas M10 – DIN 440 V, onde os elementos de madeira são da classe C20 e possuem espessuras $t_1 = 30 \text{ mm}$ e $t_2 = 30 \text{ mm}$. Deve-se aplicar $k_{mod1} = 0,6$, $k_{mod2} = 1,0$ e $k_{mod3} = 1,0$.

DADOS:

PROPRIEDADES DOS ELEMENTOS DE MADEIRA

$$f_{c0,k} = 20 \text{ MPa} \quad f_{v0,k} = 4 \text{ MPa} \quad E_{CO,m} = 3500 \text{ MPa} \quad \rho = 500 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

PROPRIEDADES DOS PARAFUSOS

$$\text{M10 – Classe 4.6} \quad d = 10 \text{ mm} \quad f_{\gamma,k} = 235 \text{ MPa} \quad f_{\mu,k} = 400 \text{ MPa}$$

Para esta dimensão de parafuso, temos que o valor de $\alpha_e = 1,9078$.

PROPRIEDADES DAS ARRUELAS

$$\text{M10 – DIN 440 V} \quad d_1 = 11,0 \text{ mm} \quad d_2 = 34,0 \text{ mm}$$

CÁLCULOS INICIAIS:

Através da Equação 6, calcula-se o momento plástico característico:

$$M_{\gamma k} = 0,3 \cdot f_{\mu,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 400 \cdot 10^{2,6} = 47.773 \text{ N.mm}$$

Através da Equação 9, calcula-se o coeficiente de relação entre os valores de embutimento dos elementos de madeira:

$$\beta = \frac{20}{20} = 1$$

Utilizando abaixo, calcula-se a força de embutimento perpendicular as fibras dos elementos de madeira:

$$f_{e90,k} = 0,25 \cdot f_{e0,k} \cdot \alpha_e = 0,25 \cdot 20 \cdot 1,9078 = 9,54 \text{ N/mm}^2$$

Através das Equações 10 e 11, calcula-se o efeito de corda que posteriormente será comparado com o valor de Johansen.

- Devido à resistência de tração no pino metálico:

$$F_{ax,rk} = 0,75 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot f_{u,k} = 0,75 \cdot \frac{\pi \cdot 10^2}{4} \cdot 400 = 23.562 \text{ N}$$

- Devido à resistência ao embutimento da arruela na madeira:

$$F_{ax,rk} = \left(\frac{\pi \cdot d_2^2}{4} - d_1^2 \right) \cdot 3 \cdot f_{e90,k} = \left(\frac{\pi \cdot 34^2}{4} - 11^2 \right) \cdot 3 \cdot 9,54$$

$$F_{ax,rk} = 22.522 \text{ N}$$

Utiliza-se o menor valor entre os dois resultados, $F_{ax,rk} = 22.522 \text{ N}$, porém deve-se verificar se o mesmo não é superior a 25% da equação de Johansen.

CÁLCULO DA RESISTÊNCIA CONSIDERANDO O EFEITO DE CORDA

Utilizando as equações do Quadro 15, calculou-se a resistência da ligação.

Equação Ia:

$$F_{v,k1} = f_{e0,k1} \cdot t_1 \cdot d = 20 \cdot 30 \cdot 10 = 6.000 \text{ N}$$

Equação Ib:

$$F_{v,k2} = f_{e0,k1} \cdot t_2 \cdot d \cdot \beta = 20 \cdot 30 \cdot 10 \cdot 1 = 6.000 \text{ N}$$

Equação Ic:

Para este caso, deve-se verificar o valor do efeito de corda comparado com 25% da parcela de Johansen.

$$F_{v,k3} = \frac{f_{e,k1} t_1 d}{1 + \beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

O limite de $F_{ax,rk}$ é a parcela de Johansen nesta equação, portanto deve-se verificá-la primeiramente.

$$Johansen\ 3 = \frac{f_{e,k1} t_1 d}{1 + \beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right]$$

$$Johansen\ 3 = \frac{20 \cdot 30 \cdot 10}{1 + 1} \left[\sqrt{1 + 2 \cdot 1^2 \left[1 + \frac{30}{30} + \left(\frac{30}{30} \right)^2 \right] + 1^3 \cdot \left(\frac{30}{30} \right)^2} - 1 \cdot \left(1 + \frac{30}{30} \right) \right]$$

$$Johansen\ 3 = 2.485\ N$$

Neste caso temos que $Johansen\ 3 \leq F_{ax,rk}$, portanto $F_{ax,rk} = 2.485\ N$.

Calculando-se então este item temos que:

$$F_{v,k3} = (Johansen\ 3) + \frac{F_{ax,rk}}{4} = 2485 + \frac{2485}{4}$$

$$F_{v,k3} = 3.106\ N$$

Equação IIa:

Para este caso, também deve-se verificar o valor do efeito de corda comparado com 25% da parcela de Johansen.

$$F_{v,k4} = 1,05 \cdot \frac{f_{e,k1} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,k}}{f_{e,k1} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

O limite de $F_{ax,rk}$ é a parcela de Johansen nesta equação, portanto deve-se verificá-la primeiramente.

$$Johansen\ 4 = \frac{f_{e0,k1} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,k}}{f_{e0,k1} \cdot t_1^2 \cdot d}} - \beta \right]$$

$$Johansen\ 4 = \frac{20 \cdot 30 \cdot 10}{2 + 1} \left[\sqrt{2 \cdot 1 \cdot (1 + 1) + \frac{4 \cdot 1 \cdot (2 + 1) \cdot 47.773}{20 \cdot 30^2 \cdot 10}} - 1 \right]$$

$$Johansen\ 4 = 3.361\ N$$

Neste caso temos que $Johansen\ 4 \leq F_{ax,rk}$, portanto $F_{ax,rk} = 3.361\ N$.

Calculando-se então este item temos que:

$$F_{v,k4} = 1,05 \cdot (Johansen\ 4) + \frac{F_{ax,rk}}{4} = 1,05 \cdot 3.361 + \frac{3.361}{4}$$

$$F_{v,k4} = 4.369\ N$$

Equação IIb:

Para este caso, também deve-se verificar o valor do efeito de corda comparado com 25% da parcela de Johansen.

$$F_{v,k5} = 1,05 \cdot \frac{f_{e,k1} \cdot t_2 \cdot d}{1 + 2\beta} \left[\sqrt{2 \cdot \beta^2 \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (1 + 2 \cdot \beta) \cdot M_{y,k}}{f_{e,k1} \cdot d \cdot t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

O limite de $F_{ax,rk}$ é a parcela de Johansen nesta equação, portanto deve-se verifica-la primeiramente.

$$Johansen\ 5 = \frac{f_{e,k1} \cdot t_2 \cdot d}{1 + 2 \cdot \beta} \left[\sqrt{2 \cdot \beta^2 \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (1 + 2 \cdot \beta) \cdot M_{y,k}}{f_{e,k1} \cdot d \cdot t_2^2}} - \beta \right]$$

$$Johansen\ 5 = \frac{20 \cdot 30 \cdot 10}{1 + 2 \cdot 1} \left[\sqrt{2 \cdot 1^2 \cdot (1 + 1) + \frac{4 \cdot 1 \cdot (1 + 2 \cdot 1) \cdot 47.773}{20 \cdot 10 \cdot 30^2}} - 1 \right]$$

$$Johansen\ 5 = 3.361\ N$$

Neste caso temos que $Johansen\ 5 \leq F_{ax,rk}$, portanto $F_{ax,rk} = 3.361\ N$.

Calculando-se então este item temos que:

$$F_{v,k5} = 1,05 \cdot (Johansen\ 5) + \frac{F_{ax,rk}}{4} = 1,05 \cdot 3.361 + \frac{3.361}{4}$$

$$F_{v,k5} = 4.369\ N$$

Equação III:

Para este caso, também deve-se verificar o valor do efeito de corda comparado com 25% da parcela de Johansen.

$$F_{v,k6} = 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{e0,k1} \cdot d} + \frac{F_{ax,rk}}{4}$$

O limite de $F_{ax,rk}$ é a parcela de Johansen nesta equação, portanto deve-se verifica-la primeiramente.

$$Johansen\ 6 = \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{e0,k1} \cdot d} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1}{1 + 1}} \cdot \sqrt{2 \cdot 47.773 \cdot 20 \cdot 10}$$

$$Johansen\ 6 = 4.371\ N$$

Neste caso temos que $Johansen\ 6 \leq F_{ax,rk}$, portanto $F_{ax,rk} = 4.371\ N$.

Calculando-se então este item temos que:

$$F_{v,k6} = 1,15 \cdot (Johansen\ 6) + \frac{F_{ax,rk}}{4} = 1,15 \cdot 4.371 + \frac{4.371}{4}$$

$$F_{v,k4} = 6.119\ N$$

$$F_{v,rk} \leq \begin{cases} F_{v,k1} = 6.000\ N \\ F_{v,k2} = 6.000\ N \\ F_{v,k3} = 3.106\ N \\ F_{v,k4} = 4.369\ N \\ F_{v,k5} = 4.369\ N \\ F_{v,k6} = 6.119\ N \end{cases}$$

Portanto $F_{v,rk} = F_{v,k3} = 3.106\ N$, ocorrendo embutimento nos dois elementos de madeira, devido ao giro do pino metálico.

Para calcular a resistência característica da ligação para uma seção de corte, considerando a quantidade de parafusos utiliza-se a Equação 8.

$$R_{v,k} = n^{\circ}\ parafusos \cdot F_{v,rk} = 4 \cdot 3.106 = 12.424\ N$$

Para se calcular a resistência de cálculo da ligação para uma seção de corte, considerando a quantidade de parafusos utiliza-se a Equação 4.

$$R_{v,d} = k_{mod1} \cdot k_{mod2} \cdot k_{mod3} \cdot \frac{R_{v,k}}{\gamma_w}$$

$$R_{v,d} = 0,6 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot \frac{12.424}{1,4} = 5.325\ N$$

CÁLCULO DA RESISTÊNCIA DESCONSIDERANDO O EFEITO DE CORDA

Utilizando as Equações do Quadro 15, calculou-se a resistência da ligação.

Equação Ia:

$$F_{v,k1} = f_{e0,k1} \cdot t_1 \cdot d = 20 \cdot 30 \cdot 10 = 6.000 \text{ N}$$

Equação Ib:

$$F_{v,k2} = f_{e0,k1} \cdot t_2 \cdot d \cdot \beta = 20 \cdot 30 \cdot 10 \cdot 1 = 6.000 \text{ N}$$

Equação Ic:

$$F_{v,k3} = \frac{f_{e,k1} t_1 d}{1 + \beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

$$F_{v,k3} = \frac{20 \cdot 30 \cdot 10}{1 + 1} \left[\sqrt{1 + 2 \cdot 1^2 \left[1 + \frac{30}{30} + \left(\frac{30}{30} \right)^2 \right] + 1^3 \cdot \left(\frac{30}{30} \right)^2} - 1 \cdot \left(1 + \frac{30}{30} \right) \right] + \frac{0}{4}$$

$$F_{v,k3} = 2.485 \text{ N}$$

Equação IIa:

$$F_{v,k4} = 1,05 \cdot \frac{f_{e,k1} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,k}}{f_{e,k1} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

$$F_{v,k4} = 1,05 \cdot \frac{20 \cdot 30 \cdot 10}{2 + 1} \left[\sqrt{2 \cdot 1 \cdot (1 + 1) + \frac{4 \cdot 1 \cdot (2 + 1) \cdot 47.773}{20 \cdot 10 \cdot 30^2}} - 1 \right] + \frac{0}{4}$$

$$F_{v,k4} = 3.529 \text{ N}$$

Equação IIb:

$$F_{v,k5} = 1,05 \cdot \frac{f_{e,k1} \cdot t_2 \cdot d}{1 + 2 \cdot \beta} \left[\sqrt{2 \cdot \beta^2 \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (1 + 2 \cdot \beta) \cdot M_{y,k}}{f_{e,k1} \cdot d \cdot t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

$$F_{v,k5} = 1,05 \cdot \frac{20 \cdot 30 \cdot 10}{1 + 2 \cdot 1} \left[\sqrt{2 \cdot 1^2 \cdot (1 + 1) + \frac{4 \cdot 1 \cdot (1 + 2 \cdot 1) \cdot 47.773}{20 \cdot 10 \cdot 30^2}} - 1 \right] + \frac{0}{4}$$

$$F_{v,k5} = 3.529 \text{ N}$$

Equação III:

$$F_{v,k6} = 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{e0,k1} \cdot d} + \frac{F_{ax,rk}}{4}$$

$$F_{v,k6} = 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1}{1 + 1}} \cdot \sqrt{2 \cdot 47.773 \cdot 20 \cdot 10} + \frac{0}{4}$$

$$F_{v,k6} = 5.027 \text{ N}$$

$$F_{v,rk} \leq \begin{cases} F_{v,k1} = 6.000 \text{ N} \\ F_{v,k2} = 6.000 \text{ N} \\ F_{v,k3} = 2.485 \text{ N} \\ F_{v,k4} = 3.529 \text{ N} \\ F_{v,k5} = 3.529 \text{ N} \\ F_{v,k6} = 5.027 \text{ N} \end{cases}$$

Portanto $F_{v,rk} = F_{v,k3} = 2.485 \text{ N}$, ocorrendo embutimento nos dois elementos de madeira, devido ao giro do pino metálico.

Para calcular a resistência característica da ligação para uma seção de corte, considerando a quantidade de parafusos utiliza-se a Equação 8.

$$R_{v,k} = n^{\circ} \text{parafusos} \cdot F_{v,rk} = 4 \cdot 2.485 = 9.940 \text{ N}$$

Para se calcular a resistência de cálculo da ligação para uma seção de corte, considerando a quantidade de parafusos utiliza-se a Equação 4.

$$R_{v,d} = k_{mod1} \cdot k_{mod2} \cdot k_{mod3} \cdot \frac{R_{v,k}}{\gamma_w}$$

$$R_{v,d} = 0,6 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot \frac{9.940}{1,4} = 4.260 \text{ N}$$

A seguir são ilustrados os relatórios gerado pelo software para a ligação calculada, considerando o efeito de corda, conforme Figura C.1, e desconsiderando o mesmo, conforme Figura C.2.



RELATÓRIO DE RESISTÊNCIA DA LIGAÇÃO



1 Seção de Corte

Direção Paralela



DADOS:

ELEMENTOS DE MADEIRA


| | |
|--------------------|--------------------------|
| Elemento 1: | C-20 |
| fc0,k: | 20 (MPa) |
| fv0,k: | 4 (MPa) |
| Ec0,m: | 3500 (MPa) |
| Densidade: | 500 (kg/m ³) |
| Espessura: | 30 (mm) |

| | |
|--------------------|--------------------------|
| Elemento 2: | C-20 |
| fc0,k: | 20 (MPa) |
| fv0,k: | 4 (MPa) |
| Ec0,m: | 3500 (MPa) |
| Densidade: | 500 (kg/m ³) |
| Espessura: | 30 (mm) |

| | |
|----------------------|-------|
| Coefficientes | |
| kmod1: | 0.6 |
| kmod2: | 1.0 |
| kmod3: | 1.0 |
| Ângulo: | 0 (°) |
| γm,ligação: | 1,4 |

ELEMENTOS METÁLICOS

| | |
|--|---|
| Parafuso |  |
| Tipo de Parafuso: | ISO 4016 - M10 |
| d: 10,0 (mm) | Número de Parafusos: 4 |
| Classe de Aço: | ISO 898-1 - Classe 4.6 |
| fy,k: 235 (MPa) | fu,k: 400 (MPa) |
| Consideração da Força de Arrancamento: | Sim |

| | |
|------------------|--|
| Arruela |  |
| Tipo de arruela: | DIN 440 V - M10 |
| d1: 11.0 (mm) | d2: 34.0 (mm) |

VALORES CALCULADOS:

| |
|------------------------------|
| Cálculos Preliminares |
| fe0,k1: 20,0 (MPa) |
| fe0,k2: 20,0 (MPa) |
| Fax,rk: 22519 (N) |

| | | |
|--|-----------------|-----------------|
| Cálculos da Revisão da NBR 7190 | | |
| Myk: 47773 (N.mm) | β: 1,000 | |
| Fv,k1: 6000 (N) | Fv,k3: 3107 (N) | Fv,k5: 4369 (N) |
| Fv,k2: 6000 (N) | Fv,k4: 4369 (N) | Fv,k6: 6120 (N) |

RESULTADO:



Tipo de ruptura: Embutimento do pino metálico nas duas peças, devido ao giro do pino metálico.

| | |
|--------|-----------|
| Fv,Rk: | 3107 (N) |
| Rk: | 12426 (N) |
| Rd: | 5326 (N) |

*Fv,Rk = resistência característica de uma seção de corte por parafuso.

*Rk = resistência característica da ligação considerando as quantidades de seções de corte e parafusos.

*Rd = resistência de cálculo da ligação.

06/11/2017

04:13:32

Figura 39 - Relatório TCD para uma seção de corte considerando o efeito de corda



RELATÓRIO DE RESISTÊNCIA DA LIGAÇÃO



1 Seção de Corte

Direção Paralela



DADOS:

ELEMENTOS DE MADEIRA

| | |
|--------------------|--------------------------|
| Elemento 1: | C-20 |
| fc0,k: | 20 (MPa) |
| fv0,k: | 4 (MPa) |
| Ec0,m: | 3500 (MPa) |
| Densidade: | 500 (kg/m ³) |
| Espessura: | 30 (mm) |

| | |
|--------------------|--------------------------|
| Elemento 2: | C-20 |
| fc0,k: | 20 (MPa) |
| fv0,k: | 4 (MPa) |
| Ec0,m: | 3500 (MPa) |
| Densidade: | 500 (kg/m ³) |
| Espessura: | 30 (mm) |

| | |
|----------------------|-------|
| Coefficientes | |
| kmod1: | 0.6 |
| kmod2: | 1.0 |
| kmod3: | 1.0 |
| Ângulo: | 0 (°) |
| ym,ligação: | 1,4 |

ELEMENTOS METÁLICOS

| | |
|--|------------------------|
| Parafuso | |
| Tipo de Parafuso: ISO 4016 - M10 | |
| d: 10,0 (mm) | Número de Parafusos: 4 |
| Classe de Aço: ISO 898-1 - Classe 4.6 | |
| fy,k: 235 (MPa) | fu,k: 400 (MPa) |
| Consideração da Força de Arrancamento: Não | |



| | |
|----------------------------------|---------------|
| Arruela | |
| Tipo de arruela: DIN 440 V - M10 | |
| d1: 11.0 (mm) | d2: 34.0 (mm) |



VALORES CALCULADOS:

| | |
|------------------------------|------------|
| Cálculos Preliminares | |
| fe0,k1: | 20,0 (MPa) |
| fe0,k2: | 20,0 (MPa) |
| Fax,rk: | 0 (N) |

| | | | | | |
|--|--------------|----------|----------|--------|----------|
| Cálculos da Revisão da NBR 7190 | | | | | |
| Myk: | 47773 (N.mm) | β: 1,000 | | | |
| Fv,k1: | 6000 (N) | Fv,k3: | 2485 (N) | Fv,k5: | 3529 (N) |
| Fv,k2: | 6000 (N) | Fv,k4: | 3529 (N) | Fv,k6: | 5027 (N) |

RESULTADO:

Tipo de ruptura: Embutimento do pino metálico nas duas peças, devido ao giro do pino metálico.



| | |
|--------|----------|
| Fv,Rk: | 2485 (N) |
| Rk: | 9941 (N) |
| Rd: | 4260 (N) |

*Fv,Rk = resistência característica de uma seção de corte por parafuso.
 *Rk = resistência característica da ligação considerando as quantidades de seções de corte e parafusos.
 *Rd = resistência de cálculo da ligação.

06/11/2017 04:21:34

Figura 40 - Relatório TCD para uma seção de corte desconsiderando o efeito de corda