

DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA DIMENSIONAMENTO DE ELEMENTOS DE LIGAÇÃO PARA ESTRUTURAS DE MADEIRA

DEVELOPMENT OF A COMPUTATIONAL TOOL FOR THE DESIGN OF CONNECTING ELEMENTS FOR TIMBER STRUCTURES

Matheus Felipe de Oliveira Lemos¹, Lauren Karoline De Sousa Gonçalves²

¹ Graduando na Faculdade de Engenharia Civil – FECIV, Universidade Federal de
Uberlândia – UFU, Minas Gerais, Brasil – matheusfelipelemos@hotmail.com

² Professora na Faculdade de Engenharia Civil – FECIV, Universidade Federal de
Uberlândia – UFU, Minas Gerais, Brasil – laurenkaroline@ufu.br

Resumo: Os elementos de ligação utilizados em estruturas de madeira são considerados pontos fundamentais a serem dimensionados para garantir a segurança dos usuários. A falta de conhecimento das normas técnicas, execução inadequada, ausência de projetos estruturais e de softwares capazes de auxiliar no cálculo das ligações em madeira podem levar aos estados limites destes elementos. Afim de auxiliar as práticas de execução de ligações em madeira e facilitar os cálculos estruturais de madeira, será desenvolvida uma ferramenta computacional para a resolução de casos comuns de ligações entre peças de madeira.

Palavras-chave: ligações, madeira, software, dimensionamento, estrutura.

Abstract: The connection elements used in timber structures are considered fundamental points to be designed to ensure the safety of users. The insufficient knowledge of technical standards, inadequate execution, lack of structural projects and lack of software capable of aiding in the calculation of timber connections can lead to the limit states of these elements. In order to help the practice of timber connection execution and to simplify wood structural calculations, a computational tool will be developed to solve common cases of connections between timber pieces.

Keywords: connections, timber, tool, computational, design, structures.

1. INTRODUÇÃO

A madeira é um material encontrado em abundância na natureza, o que o tornou um dos primeiros materiais a serem empregados na construção de habitações no período pré-histórico. Estudos sobre o emprego deste material como elemento estrutural foram desenvolvidos a partir da Segunda Guerra Mundial e com o surgimento de novas tecnologias possibilitou estudos das mais variadas formas estruturais da madeira (PFEIL, 2003).

No início do século XXI no Brasil, surgiram novas empresas no setor da construção civil atuando basicamente na fabricação de produtos industrializados de madeira. Porém, mesmo com a abundância de recursos naturais, sua utilização em edificações ocorre de forma pouca expressiva em decorrência do histórico brasileiro da utilização da madeira, desde o período colonial até o apogeu do concreto armado no Brasil que ocorreu durante o século XX. Ainda assim, é possível encontrar seu emprego na construção civil, como em andaimes, fôrmas de escoramento para concreto, telhados, uso em móveis, esquadrias e alguns produtos de

acabamento, como pisos e forros. Entretanto, não é comum observar seu emprego como elemento estrutural de toda a edificação ou na vedação de um edifício (SHIGUE, 2018).

Para o desenvolvimento de estrutura de madeira mais robustas ou até mesmo de estruturas mais simples como telhados, pergolados ou até mesmo galpões, falta mão de obra especializada. Mauro Sônego (2020) pontua sobre a falta de carpinteiros e marceneiros com experiência no mercado de trabalho e destaca que há uma grande demanda relacionada ao emprego deste material.

No Brasil, observa-se uma prática comum ao executar estruturas de madeira, a ausência de concepção e elaboração dos projetos estruturais. Esta prática pode comprometer a segurança dos usuários e a vida útil da estrutura pela ausência de dimensionamento e verificações dos elementos da estrutura e ligação. Salienta-se que a falta de tratamento e rigor com as estruturas de madeira, em especial as ligações entre as peças, além de um grau elevado de improviso, erros na concepção e ausência de dimensionamento ou sem considerar o real comportamento das ligações, prejudicam o desempenho adequado de toda a estrutura (BARBOSA; BRANCO; FERREIRA, 2017).

A inovação tecnológica pode auxiliar na diminuição de problemas de execução de ligação em estruturas de madeira, pois o uso de programas de computador nos dias atuais é algo imprescindível. Segundo Andrade (2004), a aquisição de ferramentas computacionais no setor da construção civil cresceu muito em decorrência do aumento do poder de processamento dos computadores, da redução dos preços e do surgimento de aplicativos direcionais.

Diante do exposto, o objetivo do presente artigo é conhecer os principais requisitos para o dimensionamento de ligações em madeira e a transferência dos esforços solicitantes entre os elementos estruturais por meio dos diversos tipos de ligações. E a partir disso, desenvolver uma ferramenta computacional em Java capaz de realizar os cálculos e verificações necessários para garantir a segurança e durabilidade das ligações entre os elementos estruturais de madeira.

O principal recurso a ser utilizado da linguagem Java, será o Java GUI *application*. Conrod e Tylee (2015) nos diz que o Java application enfatiza o uso de interface gráfica usando funções interativas, tais como *bottons*, *labels*, *text boxes*, *tool bars*, *menu itens*, para que uma aplicação faça suas tarefas, de modo que haja a criação de eventos e que levem a obtenção dos resultados esperados.

Na construção do programa computacional será utilizada a norma ABNT NBR 7190:1997 de Projetos de Estruturas em Madeira, para implementar os principais métodos de ligação que são aplicados nas construções utilizando a madeira no Brasil. Destaca-se que as principais ligações entre peças de madeira a serem tratadas e utilizadas no programa serão as ligações por pregos e parafusos, cavilhas, conector de anel e entalhes.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Propriedades Mecânicas da Madeira

Para o dimensionamento dos elementos de ligação da madeira, deve se conhecer primeiramente o tipo de madeira e suas propriedades mecânicas para que o dimensionamento não seja prejudicado. As propriedades físicas e mecânicas da madeira são geralmente determinadas por ensaios padronizados em laboratório. A ABNT NBR 7190:1997 apresenta no anexo B como são feitos os ensaios para caracterização da madeira. No entanto a norma traz métodos matemáticos que permitem estimar com segurança o dimensionamento de estruturas sem a necessidade de ensaios práticos (PFEIL, 2003).

Para que a estrutura seja segura, esta deve atender ao estado limite último. Segundo a ABNT NBR 7190:1997, o estado limite último é o estado que determina a paralização do todo, com perda de equilíbrio, global, parcial, ruptura, deformações e instabilidade que levam a ruína

do todo. As ligações em madeira, são calculadas respeitando este limite, para que não haja o comprometimento das estruturas de madeira.

A segurança é dada pela garantia de que os esforços solicitantes de cálculo não sejam superiores à resistência de cálculo dos elementos, como indicado na Eq.1.

$$S_d < R_d \quad (\text{Equação 1})$$

onde, S_d são as ações solicitantes de cálculo na estrutura e R_d é a resistência de cálculo da estrutura.

Para a determinação da resistência de cálculo, a ABNT NBR 7190:1997, traz uma metodologia para calcular a resistência de cálculo sem a utilização de experimentos de laboratório, como indica a Eq.2.

$$R_d = k_{mod} * \frac{R_k}{\gamma_w} \quad (\text{Equação 2})$$

onde, R_k é a resistência característica da madeira, γ_w é o coeficiente de minoração da resistência característica e k_{mod} é o coeficiente de modificação que é calculado em função das características do carregamento, da umidade da madeira e da qualidade da madeira.

As madeiras por serem um material extraído da natureza podem apresentar diferentes formas e propriedades. A fim de padronizar as propriedades mecânicas da madeira para os cálculos das estruturas, a norma ABNT NBR 7190:1997 classifica a madeira em duas categorias: Coníferas e Dicotiledôneas. As Tab. 1 e 2 mostram a resistência característica normal paralelo às fibras da madeira (f_{c0k}), a resistência características ao cisalhamento paralelo as fibras (f_{vk}), o valor médio do módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras ($E_{c0,m}$), a densidade básica da madeira ($\rho_{bas,m}$) e a densidade aparente da madeira ($\rho_{aparente}$) das Coníferas e Dicotiledôneas, respectivamente.

Tabela 1 – Propriedades mecânicas padronizadas das Coníferas.

Coníferas (Valores na condição-padrão de referência U = 12%)					
Classes	f_{c0k} MPa	f_{vk} MPa	$E_{c0,m}$ MPa	¹⁾ $\rho_{bas,m}$ kg/m ³	$\rho_{aparente}$ kg/m ³
C 20	20	4	3 500	400	500
C 25	25	5	8 500	450	550
C 30	30	6	14 500	500	600
¹⁾ Como definida em 6.1.2.					

Fonte: ABNT NBR 7190:1997

Tabela 2 – Propriedades mecânicas padronizadas das Dicotiledôneas.

Dicotiledôneas (Valores na condição-padrão de referência U = 12%)					
Classes	f_{cdk} MPa	f_{vk} MPa	$E_{cd,m}$ MPa	¹⁾ $\rho_{bas,m}$ kg/m ³	$\rho_{aparente}$ kg/m ³
C 20	20	4	9 500	500	650
C 30	30	5	14 500	650	800
C 40	40	6	19 500	750	950
C 60	60	8	24 500	800	1 000
¹⁾ Como definida em 6.1.2.					

Fonte: ABNT NBR 7190:1997.

As propriedades das madeiras apresentadas acima são consideradas com umidade padrão de 12%. Caso a umidade seja maior, deve haver uma correção da resistência como a ABNT NBR 7190:1997 indica no item 6.4.7.

2.2. Ações

As ações são solicitações de cargas que deformam as estruturas. Estas cargas são classificadas com base no tempo de atuação da vida da estrutura, sendo categorizadas em permanentes (baixa variação), variáveis (variação alta de carga) e em excepcionais (baixa probabilidade de atuarem na estrutura). As cargas permanentes são decorrentes do peso próprio, ou seja, são inerentes à própria estrutura e não sofrem muita variação com o passar do tempo. Já as cargas variáveis sofrem variação a depender da utilização da construção, como cargas de circulação de pessoas, móveis, veículos, e até mesmo a carga de vento. E as cargas excepcionais são de curta duração e devem ser consideradas apenas em alguns projetos específicos (PFEIL,2003).

A ação solicitante de cálculo para o estado limite último (ELU) sobre as estruturas é determinada por meio da combinação de ações. Esta combinação é realizada utilizando métodos probabilísticos que levam em consideração a ocorrência de solicitações que variam, já que determinadas ações variáveis não ocorrem simultaneamente, como exemplifica a ABNT NBR 7190:1997. A norma traz a combinação última normal, apresentada na Eq. (3), obtida considerando o valor característico das ações permanentes ($F_{Gi,k}$), o valor característico da ação variável principal ($F_{Q1,k}$) e as demais ações variáveis (F_{Qjk}) que devem ser reduzidas pelo fator (ψ_{0j}).

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} F_{Gi,k} + \gamma_Q \left[F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} F_{Qjk} \right] \quad (\text{Equação 3})$$

Onde os fatores de redução das ações variáveis consideradas na ABNT NBR 7190:1997 dependem da utilização das estruturas. A Tab. 3 mostra os fatores de combinação e utilização indicados pela norma.

Tabela 3 – Fatores de combinação e utilização

Ações em estruturas correntes	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
- Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
- Pressão dinâmica do vento	0,5	0,2	0
Cargas acidentais dos edifícios	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
- Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos fixos, nem de elevadas concentrações de pessoas	0,4	0,3	0,2
- Locais onde há predominância de pesos de equipamentos fixos, ou de elevadas concentrações de pessoas	0,7	0,6	0,4
- Bibliotecas, arquivos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
- Pontes de pedestres	0,4	0,3	0,2 ¹⁾
- Pontes rodoviárias	0,6	0,4	0,2 ¹⁾
- Pontes ferroviárias (ferrovias não especializadas)	0,8	0,6	0,4 ¹⁾

¹⁾ Admite-se $\Psi_2 = 0$ quando a ação variável principal corresponde a um efeito sísmico.

Fonte: ABNT NBR 7190:1997

Na Eq. (3) também é utilizado coeficientes de majoração da ação permanente (γ_{Gi}) e da ação variável (γ_Q), sendo estes coeficientes dependentes do grau de variabilidade das ações. As ações permanentes podem ser de pequena (caso peso específico da madeira tenha coeficiente de variação não superior a 10% e madeira estrutural) ou grande variabilidade (quando o peso próprio não supera 75% dos pesos permanentes da estrutura). Há também as ações permanentes indiretas que levam em conta os efeitos de recalque de apoio e retração, a qual não é o foco do presente trabalho. Os coeficientes de majoração das ações permanentes de pequena variabilidade e grande variabilidade são mostradas nas Tab. 4 e 5. A Tab. 6 indica os coeficientes de majoração da ação variável que se diferencia apenas quando se considera efeitos de temperatura.

Tabela 4 - Ações de pequena variabilidade

Combinações	Para efeitos ¹⁾	
	Desfavoráveis	Favoráveis
Normais	$\gamma_g = 1,3$	$\gamma_g = 1,0$
Especiais ou de construção	$\gamma_g = 1,2$	$\gamma_g = 1,0$
Excepcionais	$\gamma_g = 1,1$	$\gamma_g = 1,0$

¹⁾ Podem ser usados indiferentemente os símbolos γ_g ou γ_G .

Fonte: ABNT NBR 7190:1997

Tabela 5 - Ações de grande variabilidade

Combinações	Para efeitos	
	Desfavoráveis	Favoráveis
Normais	$\gamma_g = 1,4$	$\gamma_g = 0,9$
Especiais ou de construção	$\gamma_g = 1,3$	$\gamma_g = 0,9$
Excepcionais	$\gamma_g = 1,2$	$\gamma_g = 0,9$

Fonte: ABNT NBR 7190:1997.

Tabela 6 – Coeficiente de majoração das ações variáveis.

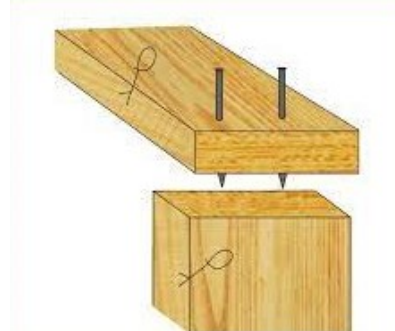
Combinações	Ações variáveis em geral, incluídas as cargas acidentais móveis	Efeitos da temperatura
Normais	$\gamma_Q = 1,4$	$\gamma_e = 1,2$
Especiais ou de construção	$\gamma_Q = 1,2$	$\gamma_e = 1,0$
Excepcionais	$\gamma_Q = 1,0$	$\gamma_e = 0$

Fonte: ABNT NBR 7190:1997.

2.3. Tipos de Ligação em Madeira

A ligação entre os elementos estruturais é responsável pela transmissão efetiva de esforços. Existem diversos tipos de ligações possíveis de serem utilizadas entre os elementos e sua escolha depende de critérios econômicos e de execução. Geralmente os tipos de ligações em madeira podem ser por aderência, contato e perfuração. Destes grupos, o mais comum a ser encontrado em pequenas construções são as ligações de perfuração, as quais se utiliza basicamente de pregos e parafusos para transmissão dos esforços entre os elementos (KOZERSKI, 2012). A Fig. 1 ilustra um exemplo de ligação entre peças de madeira utilizando pregos.

Figura 1 – Ligação entre peças de madeira utilizando pregos.



Fonte: WOOD SECOND (2021)

A madeira laminada colada (MLC) é produzida em indústrias utilizando colas para garantir a união entre as peças de madeira, utilizando o princípio da aderência. Enquanto que as ligações por contato, segundo Palma (2009) são ligações que eram bastante utilizadas em estruturas antigas, e ainda hoje são empregadas através de entalhes, onde as transmissões de esforços se davam por compressão ou por atrito entre as superfícies de contato. A execução das ligações em estrutura de madeira é vasta, porém cabe aos responsáveis pela execução do projeto definir qual será mais adequada aquela situação de projeto.

2.3.1. Ligações Pregos e Parafusos

Os pregos e parafusos são os principais elementos utilizados para ligações de madeira não estrutural, tais como em cadeiras, mesas, quadros, camas e dentre outros. Estes elementos também podem ser utilizados em ligações de peças estruturais, desde que sejam respeitados os diâmetros mínimos definidos e a resistência ao escoamento. A norma de Projetos de Estruturas de Madeira traz a seguinte recomendação:

“Os pregos estruturais devem ser feitos de aço com resistência característica de escoamento f_{yk} de pelo menos 600 MPa, e devem ter diâmetro mínimo de 3 mm. Recomenda-se que os parafusos estruturais tenham diâmetros não menores que 10 mm e resistência característica de escoamento f_{yk} de pelo menos 240 MPa” (ABNT NBR 7190:1997).

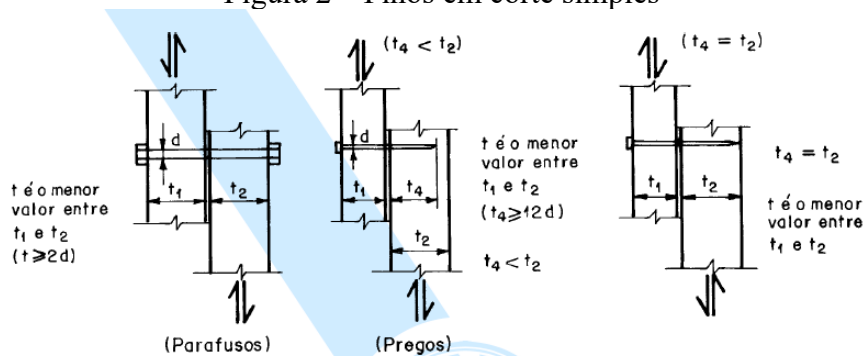
No cálculo das ligações de perfuração devem ser analisadas tanto as peças que serão ligadas (madeira), quanto os elementos de ligação (pregos e parafusos). A pré-furação é essencial para evitar danos a madeira que possam ocorrer na penetração das peças metálicas, que no caso do prego é muito comum devido a presença do impacto na sua execução, levando a separação das fibras da madeira causando então o fendilhamento. A ABNT NBR 7190:1997 aponta as seguintes recomendações relacionadas à pré-furação das ligações com pinos:

“Em uniões pregadas será obrigatoriamente feita a pré-furação da madeira, com diâmetro d_0 não maior que o furação da madeira, com diâmetro d_{ef} do prego, coníferas: $d_0 = 0,85.d_{ef}$ e dicotiledôneas: $d_0 = 0,98.d_{ef}$ onde d_{ef} é o diâmetro efetivo medido nos pregos a serem usados. Em estruturas provisórias, admite-se o emprego de ligações pregadas sem a pré-furação da madeira, desde que se empreguem madeiras moles de baixa densidade, $\rho_{ap} \leq 600 \text{ kg/m}^3$, que permitem a penetração dos pregos sem risco de fendilhamento, e pregos com diâmetro d não maior que $1/6$ da espessura da madeira mais delgada e com espaçamento mínimo de $10d$. Para ligações parafusadas sejam consideradas rígidas, a pré-furação deve ser feita com diâmetro d_0 não maior que o diâmetro d do parafuso, acrescido de 0,5 mm. Caso sejam empregadas diâmetros d_0 maiores, a ligação deve ser considerada deformável” (ABNT NBR 7190:1997).

Quanto a rigidez das ligações de madeira, a norma faz outras considerações que são de extrema importância para o cálculo das estruturas de madeira. A ABNT NBR 7190:1997 diz que as ligações parafusadas são consideradas rígidas quanto possuem mais de quatro pregos, respeitando os limites da pré-furação, e as ligações parafusadas com quatro ou mais parafusos são rígidas ou deformáveis, a depender de acordo com o diâmetro de pré-furação adotado. A norma também recomenda não utilizar ligações com apenas um único pino metálico.

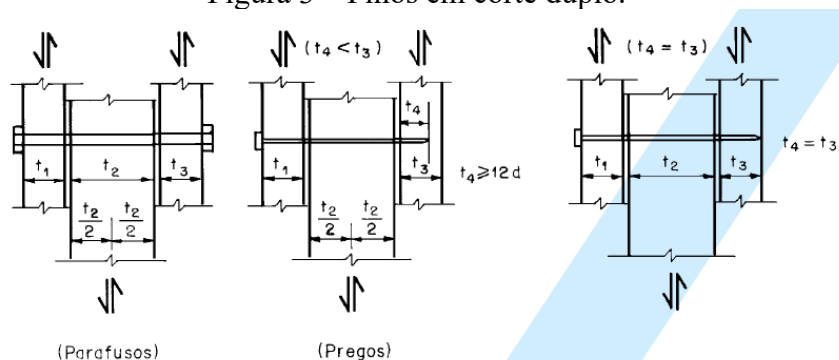
As Fig. 2 e 3 apresentam diferentes configurações de ligações com pinos metálicos, sendo estas ligações por cortes simples ou duplo, respectivamente.

Figura 2 – Pinos em corte simples



Fonte: ABNT NBR 7190:1997.

Figura 3 – Pinos em corte duplo.



Fonte: ABNT NBR 7190:1997.

O cálculo da resistência dos pinos metálicos depende do cálculo do parâmetro β de acordo com a ABNT NBR 7190:1997, indicada pela Eq.4:

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

onde t é a espessura convencional da madeira, a qual está representada nas Fig. 2 e 3, sendo utilizada a menor espessura entre as peças de madeira, e d é o diâmetro do pino, no caso do prego ou parafuso. Este valor de parâmetro possui um valor limite que é determinado pela Eq.5:

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

sendo f_{yd} a resistência de cálculo ao escoamento do pino metálico, e f_{ed} a resistência de cálculo de embutimento. A resistência de cálculo do pino (R_{vd1}) depende de duas condições, o embutimento na madeira e a flexão do pino. A condição é determinada relacionando o parâmetro β com o β_{lim} . No caso em que β_{lim} seja maior que β considera-se a ocorrência do embutimento da madeira, sendo a resistência determinada Eq. (6):

$$R_{vd1} = 0,40 \frac{t^2}{\beta} f_{ed} \quad (\text{Equação 6})$$

No caso em que β_{lim} seja menor que β considera-se a situação de flexão do pino e a resistência é determinada pela Eq.7:

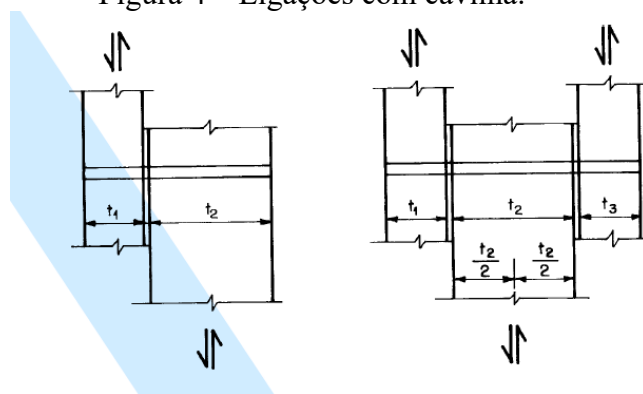
$$R_{vd1} = 0,625 \frac{d^2}{\beta_{lim}} f_{ed} \quad (\text{Equação 7})$$

Calculado os valores de resistência do pino, a resistência total de um pino na ligação será então dada pela soma das resistências a cada seção de corte, ou seja, se o corte for duplo a resistência deve ser dividida por dois.

2.3.2. Ligações com Cavilhas

As cavilhas são pinos de madeira usadas como ligação entre peças maiores e mais espessas também de madeira. O seu emprego não é muito usual em construções estruturais de madeira, mas a norma permite sua utilização desde que sejam torneadas e feitas com madeiras duras da classe C60 ou com madeiras moles de $\rho_{ap} \leq 600 \text{ kg/m}^3$ impregnas com resinas que aumentem a resistência. Os diâmetros que são empregados em cavilhas estruturais são de 16 mm, 18 mm e 20 mm. Sobre as recomendações gerais de cálculo das cavilhas em ligações de madeira, são idênticas a de pinos metálicos, a diferença é que ao invés de calcular a resistência de um pino metálico calcula-se a resistência da cavilha, e a pré-furação d_0 é de mesmo diâmetro da cavilha adotada na ligação (ABNT NBR 7190:1997). A Fig.4 mostra as espessuras de penetração nos elementos interligados utilizando o pino cavilha.

Figura 4 – Ligações com cavilha.



Fonte: NBR ABNT 7190/1997.

O valor do parâmetro limite é dado pela Eq.8 indicada abaixo:

$$\beta_{lim} = 1,25 \sqrt{\frac{f_{c0,d,cav}}{f_{c90d,cav}}} \quad (\text{Equação 8})$$

sendo $f_{c0,d,cav}$ o valor de cálculo da resistência à compressão paralela e $f_{c90d,cav}$ o valor de cálculo da resistência à compressão normal da cavilha. O cálculo da resistência da cavilha é calculado identicamente aos pinos metálicos, ao invés da resistência de embutimento f_{ed} nas fórmulas de cálculo de resistência dos pinos, utiliza-se o valor de $f_{c90d,cav}$ que é a resistência à compressão normal da cavilha, pelas suposições de esmagamento da cavilha e flexão da cavilha.

2.3.3. Ligações com Anéis Conectores

“Os conectores de anel são peças metálicas especiais, encaixadas em ranhuras, na superfície da madeira e apresentando grande eficiência na transmissão de esforços. No lado de cada conector, coloca-se um parafuso para impedir a separação das peças ligadas. Os conectores usuais são em forma de anel” (PFEIL, 2003). Segundo a ABNT NBR 7190:1997 para utilização dos anéis metálicos como conectores de peças de madeira estruturais temos as seguintes recomendações:

“Admite-se o emprego de anéis metálicos estruturais apenas com diâmetros internos d de 64 mm e 102 mm. Os anéis de 64 mm e 102 mm devem ser acompanhados por

parafusos de 12 mm e 19 mm, respectivamente, colocados no centro do anel. Os anéis de 64 mm de diâmetro devem ter espessura da parede não menor que 4 mm, e os anéis de 102 mm devem ter espessura não menor que 5 mm” (ABNT NBR 7190:1997).

O cálculo da resistência dos anéis metálicos é determinado em função da resistência ao cisalhamento longitudinal ($f_{v0,d}$) das duas madeiras interligadas. De acordo com a norma, a resistência ao cisalhamento da madeira correspondente a um anel metálico é dada pelo menor dos valores, obtidos pelas Eq. 9 e 10.

$$R_{anel,1} = \frac{\pi d^2}{4} f_{v0,d} \quad (\text{Equação 9})$$

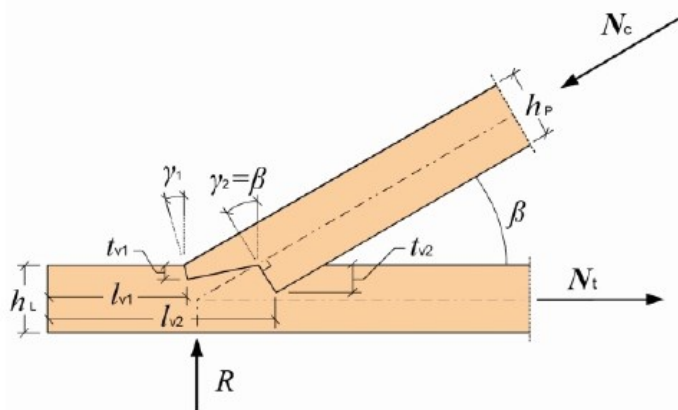
$$R_{anel,1} = t d f_{c\alpha,d} \quad (\text{Equação 10})$$

Onde (t) é a profundidade de penetração do anel em cada peça de madeira, (d) é o seu diâmetro e ($f_{c\alpha,d}$) o valor de cálculo da resistência à compressão de cálculo.

2.3.4. Ligações por Entalhe

“Os entalhes e encaixes são ligações em que a madeira trabalha à compressão associada a corte. Nessas ligações, a madeira realiza em geral o principal trabalho de transmissão dos esforços, utilizando-se grampos ou parafusos para impedir a separação das peças” (PFEIL, 2003). As ligações por entalhe são as mais variadas, pois cada configuração possui um modo de cálculo, porém em todas elas são feitas verificações das tensões normais e de cisalhamento nas direções paralelas e perpendiculares a fibra, já que a ligação é executada entre as peças de madeira. Uma configuração de entalhe muito comum nas construções são os entalhes executados nos cantos da treliça de cobertura, também conhecida como tesoura. A Fig. 5 mostra um exemplo de entalhe em cantos de tesoura.

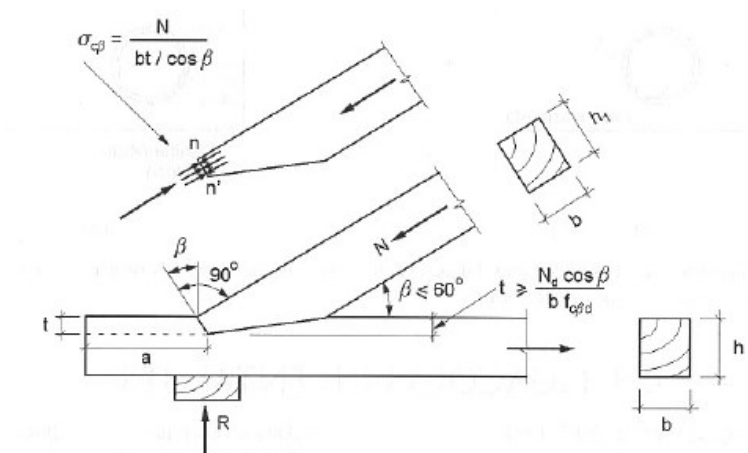
Figura 5 – Entalhe de cantos de Tesoura



Fonte: Palma (2009).

A partir da ligação ilustrada na Fig. 6, verifica-se a tensão normal de compressão na face frontal e a tensão de cisalhamento na face horizontal de comprimento a e largura b (PFEIL, 2003).

Figura 6 – Equações de cisalhamento e tensão normal de compressão do Entalhe.



Fonte: Pfeil (2003).

A fórmula para calcular a tensão cisalhante (τ) solicitante dos esforços que ocorrem no entalhe é dada por:

$$\tau = \frac{N_d \cos \beta}{ba} \quad (\text{Equação 11})$$

A tensão cisalhante solicitante é dada pela força (N_d) com sua componente de força na direção paralela ao no banco inferior, sobre a área que está sofrendo cisalhamento, depois é preciso analisar se a tensão cisalhante resistente paralela a fibra da madeira é maior do que a tensão solicitante, caso for verdadeiro a peça não sofrerá o cisalhamento.

A Eq.12 expressa o cálculo da tensão normal de compressão (σ) solicitante dos esforços que ocorrem no entalhe.

$$\sigma = \frac{N_d \cos \beta}{bt} \quad (\text{Equação 12})$$

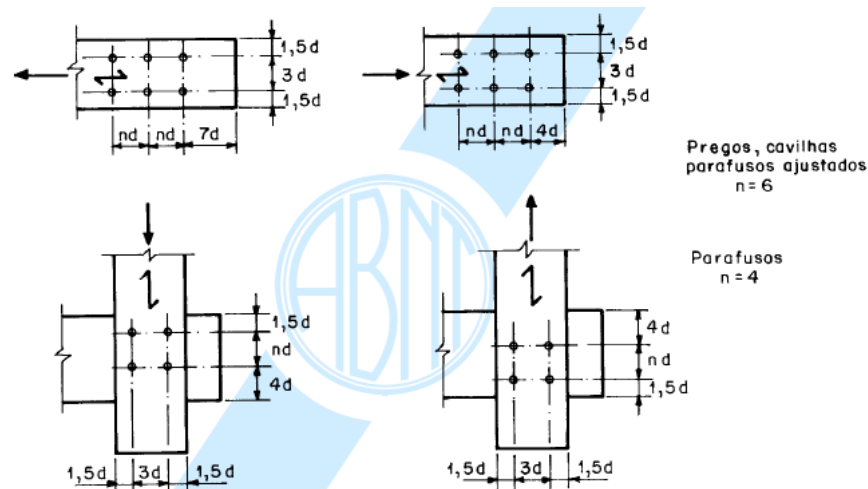
A tensão de compressão solicitante é dada pela força (N_d), sobre a área que está sofrendo a compressão, ou seja, a área inclinada que está em contato com o banco superior. Depois do cálculo da tensão, deve-se comparar a tensão de compressão solicitante com a resistência à compressão da madeira que irá depender da inclinação do elemento.

2.4. Espaçamento entre elementos de ligação

A ABNT NBR 7190:1997 faz algumas recomendações de espaçamento entre estes elementos, para que não haja danos à madeira, que sejam rígidas e resistentes a solicitação das ações atuantes nos elementos de ligação.

A Fig. 7 exemplifica as principais recomendações da norma no que diz respeito as ligações de pinos metálicos e cavilhas. Percebe-se que o espaçamento difere quando o elemento está submetido à tração ou compressão, o que dependerá das características da solicitação e também do diâmetro dos pinos (d).

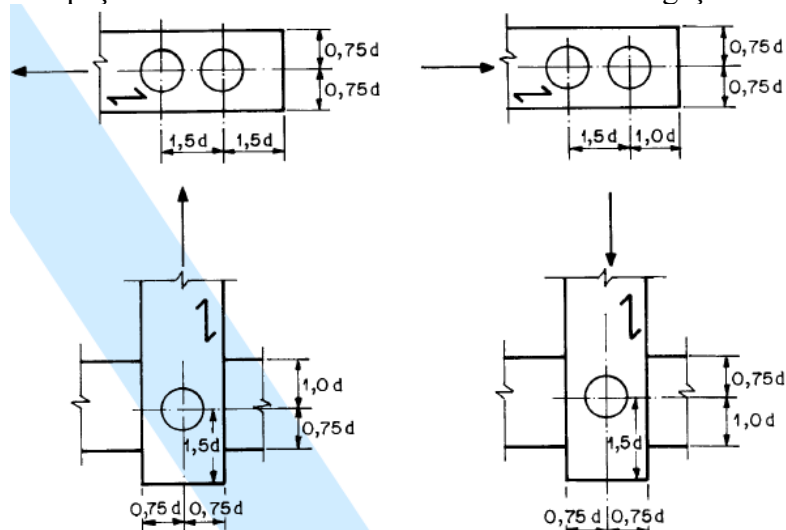
Figura 7 – Espaçamento mínimo entre pinos metálicos e cavilhas em ligações de madeira.



Fonte: ABNT NBR 7190:1997.

A Fig. 8 mostra as recomendações para a ligação de anéis metálicos, que assim como as ligações de pinos, também dependem do diâmetro e do tipo de esforço solicitante, se é um caso de compressão ou tração.

Figura 8 – Espaçamento mínimo entre anéis metálicos em ligações de madeira.



Fonte: ABNT NBR 7190:1997.

2.5. Linguagem de programação

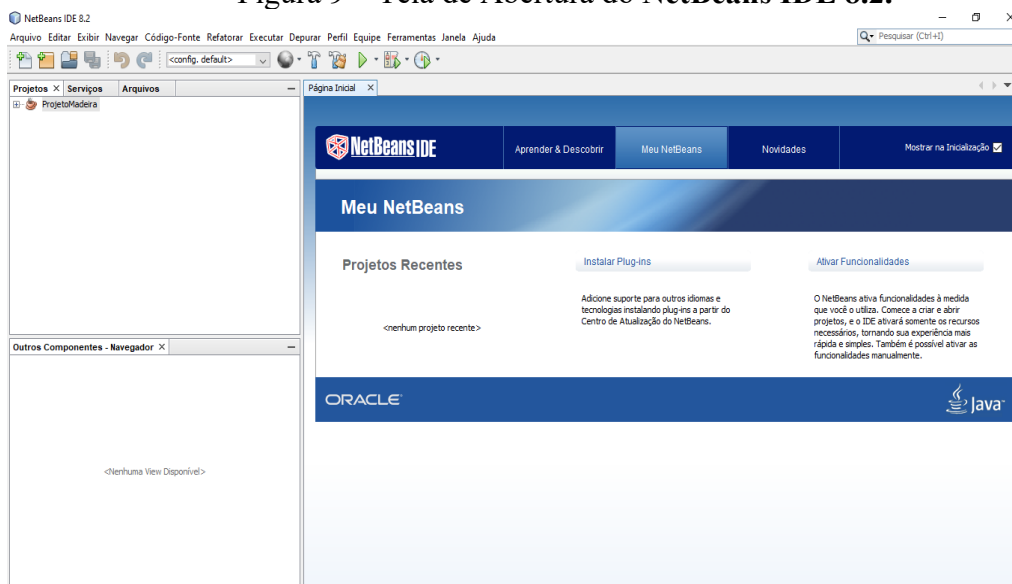
O desenvolvimento da ferramenta computacional para dimensionamento de elementos de ligação em estruturas de madeira proposto neste trabalho foi realizado utilizando uma linguagem de programação capaz de unir todas as informações necessárias para o cálculo dos elementos de ligação e a sua disposição no momento de execução das estruturas. Um programa de computador é um conjunto e sequência de instruções que são lidas tanto pela máquina (computador) quanto pelos seres humanos. Um programa é criado por meio de um compilador que faz a conversão da linguagem de programação (linguagem entendida pelos seres humanos),

para a linguagem complexa de binários dos computadores. A linguagem de programação Java é uma linguagem de alto nível que define programas de maneira rápida, organizada e bem estruturada por meio da lógica (SCHILDT; SKRIEN, 2013).

Existem vários tipos de linguagem de programação, porém a Java, de um ponto de vista didático, é mais simples e a disponibilidade de diferentes recursos para sua implementação são disponíveis gratuitamente. O compilador utilizado para a definição e construção do programa foi o compilador **NetBeans IDE 8.2**, que é bastante utilizado na criação de diversos programas não somente utilizando a programação Java.

A Fig. 9 mostra a tela inicial de abertura do compilador **NetBeans IDE 8.2**. Nesta tela inicial é onde os projetos são criados, podendo observar na lateral esquerda o ícone **ProjetoMadeira** que se refere ao programa criado para dimensionamento das ligações em madeira. O ícone que o acompanha indica a programação Java que foi escolhida como linguagem base. Logo abaixo, apresenta-se o navegador de telas e ao lado direito são abertas as classes do projeto onde se descreve a linguagem de programação.

Figura 9 – Tela de Abertura do NetBeans IDE 8.2.



Fonte: Autor (2021).

O Java é uma linguagem que, assim como as outras, quando foi lançada possuía uma interface muito simples e os resultados gerados eram expressos por meios de resultados em caixas de console. Esse tipo de implementação tinha suas limitações e com o desenvolvimento de novas tecnologias surgiu o modo de visualização padrão que se costuma encontrar na maioria dos *softwares* atualmente. Deste modo, surgiu o Java Swing que utiliza elementos gráficos para se utilizar na plataforma do Java. O Swing é compatível com AWT e sua vantagem é que este não depende do sistema operacional para que o programa funcione adequadamente, visto que dessa forma o programa funciona adequadamente em diferentes sistemas operacionais (DEVMEDIA, 2021).

Ainda sobre Java Swing, segundo Devmedia (2021), o Swing é mais completo e também possui uma aparência mais agradável independente do sistema operacional, com uma vasta quantidade de elementos gráficos para implementar. O Java Swing possui uma grande quantidade de componentes chamados de *JComponent*, sendo que cada um deles possui sua funcionalidade e cada um é adaptável à aparência do programa. Dessa maneira optou-se pela utilização do Java juntamente com o Swing a fim de tornar o programa mais agradável para o

usuário, mais completo e de fácil manipulação. A Tab.7 mostra todos estes componentes do Java Swing.

Tabela 7 – Todos os componentes do Java Swing.

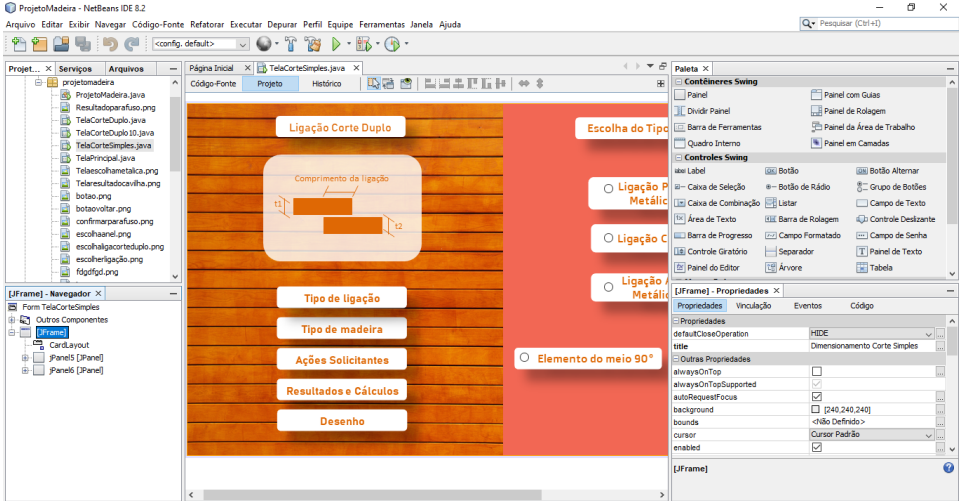
JApplet	JButton	JCheckBox	JCheckBoxMenuItem
JColorChooser	JComboBox	JComponent	JDesktopPane
JDialog	JEditorPane	JFileChooser	JFormattedTextField
JFrame	JInternalFrame	JLabel	JLayer
JLayeredPane	JList	JMenu	JMenuBar
JMenuItem	JOptionPane	JPanel	JPasswordField
JPopupMenu	JProgressBar	JRadioButton	JRadioButtonMenuItem
JRootPane	JScrollBar	JScrollPane	JSeparator
JSlider	JSpinner	JSplitPane	JTabbedPane
JTable	JTextArea	TextField	JTextPane
JToggleButton	JToolBar	JToolTip	JTree
JViewport	JWindow		

Fonte: Schildt e Skrien (2013).

Os componentes indicados na Tab.7 são fornecidos pelo compilador **NetBeans IDE 8.2** para a construção do *software* de dimensionamento das ligações de madeira, os principais utilizados foram o JFrame, JTable, JButton, JLabel, JPanel e JComboBox. Os componentes JFrame são as janelas que aparecem para o usuário contendo todas as informações para execução do programa, os JTable são tabelas que são implementadas no programa, mostrando informações para usuários, os JButton são os componentes que executam ações do usuário, os JLabel são componentes que mostram as informações que o programa mostra para o usuário tais como textos, figuras e imagens, o JPanel fornece painéis onde cada um tem seu conteúdo específico, e o JComboBox que traz uma lista de itens ao ser selecionado para escolha do usuário.

A Fig. 10 mostra a disposição dos JComponent para implementação da ferramenta computacional. Observa-se no canto direito da tela os componentes do Swing, sendo a opção Painel correspondente a opção de JPanel que pode ser aplicado, Label se refere ao JLabel e assim por diante. Também é possível visualizar as propriedades de cada um dos componentes alterando suas características, tais como aparência por meio da cor, da fonte e tamanho.

Figura 10 – Componentes do Java Swing no NetBeans IDE 8.2.



Fonte: Autor (2021).

3. METODOLOGIA

A metodologia do presente trabalho constitui-se essencialmente da utilização do *software* **NetBeans IDE 8.2** com o Java Swing como ferramenta para desenvolvimento de uma ferramenta computacional para dimensionamento de ligações em estruturas de madeira. A ferramenta computacional desenvolvida é composta por diferentes telas e painéis contendo as informações para o dimensionamento específico dependendo do tipo de ligação escolhido. Por exemplo, ao escolher dimensionar a ligação por corte simples, o usuário terá que informar as espessuras das peças de madeira, o tipo de madeira (dicotiledônea ou conífera), a classe de resistência da madeira e o tipo de ligação que será feita entre esses elementos (cavilhas, parafusos, pregos ou anel metálico).

O usuário da ferramenta deverá ter conhecimentos da norma ABNT NBR 7190:1997, pois a base de cálculo do *software* se utiliza majoritariamente das suas recomendações. Caso o usuário tente realizar algum tipo de dimensionamento que entre em desconformidade com a mesma, um aviso é apresentado pela ferramenta. Por exemplo, no caso de uma ligação parafusada entre duas peças de madeira com espessura inadequada, visto que o comprimento do prego não seja suficiente para isso, o *software* enviará uma mensagem ao usuário para que este volte e escolha outra peça ou até mesmo altere o tipo de ligação para que seja satisfeita a ligação entre estes elementos.

A ferramenta além de calcular a quantidade de elementos de ligação necessários para a transmissão dos esforços, também é capaz de entregar um desenho representativo da disposição destes elementos na madeira, de forma que o usuário tenha também condições reais de executar esta ligação. Esta representação é capaz de entregar diversos tipos de desenho das ligações e o distanciamento entre as ligações. No entanto, para o comprimento de ligação e altura máxima das peças ligadas foi estabelecido um limite de 40 cm e 50 cm, respectivamente, para representação do desenho no *software*. Considerou-se estes valores limites por ser um espaçamento suficiente para ligação eficiente e peças de madeira com larguras maiores não são economicamente viáveis para execução com este tipo de ligação.

O *software* foi criado considerando uma tela principal que contém os principais tipos de ligação: cortes simples, corte duplo e entalhe. Ao selecionar o tipo de ligação, uma tela secundária é aberta para o usuário inserir informações requeridas à ligação a ser dimensionada. O ângulo de ligação entre os elementos também é um fator importante, pois as resistências da madeira ao embutimento, à compressão e à tração são alteradas considerando a atuação da força em uma determinada direção das fibras de madeira. A ferramenta que foi implementada é capaz de calcular as forças de atuação para todos os ângulos e indicar o número de elementos de ligações necessário. No entanto, não foi possível desenvolver a representação gráfica das ligações de peças inclinadas, pois sua implementação é mais complexa e dependeria muito de cada tipo de projeto.

A ferramenta computacional fornece a memória de cálculo (expressa os valores obtidos durante todo o processo) e o desenho (representação gráfica da disposição dos elementos de ligação de acordo com a norma). Para isto, o usuário deve escolher o tipo de ligação entre dois elementos, por exemplo corte duplo e entrar com os seguintes dados:

- a) Tipo de ligação: ligação pinos metálicos, ligação cavilha, ligação por anéis metálicos e ligação por entalhe. No caso de ligação dupla, não foi adicionada a ligação por anel metálico, visto que suas especificações não se encontram na ABNT NBR 7190:1997;
- b) Tipo de madeira: dicotiledônea ou conífera, classe de resistência, condições da madeira para cálculo do coeficiente de modificação (k_{mod}), tamanho das peças de madeira que serão unidas;

- c) Ações solicitantes: cargas permanentes, cargas variáveis, cargas de vento e suas condições.

Por meio da lógica de programação o Java consegue aplicar as condições de escolha do usuário e assim executar os cálculos necessários para o dimensionamento das ligações de madeira.

4. RESULTADOS

Afim de compreender a aplicação da ferramenta computacional na prática e sua fase importantíssima, será apresentado um exemplo prático de dimensionamento de ligação entre peças de madeira. Alguns exemplos são comuns em estruturas típicas de madeira, tais como telhados, pergolados entre outros comuns que utilizam majoritariamente a madeira em sua execução.

A ligação em corte duplo e corte simples são bastante similares, a diferença é que a ferramenta computacional não calcula as ligações em anéis metálicos para corte duplo. Pfeil (2003) aborda o uso de anéis metálicos em corte duplo, porém a ABNT NBR 7190:1997 não menciona esta situação e por isso optou-se por não inserir na ferramenta.

Sobre a ligação por entalhes, estas ligações são diversas e bastantes complexas, porém a ligação adotada abrange grande parte das ligações por entalhe, visto que se encontram principalmente em telhados de madeira, onde a madeira ainda é bastante empregada como material estrutural. O software calcula esta estrutura indicando se a mesma resiste aos esforços de tensão normal e cisalhante. Caso estes não sejam satisfeitos, a ferramenta apresenta a opção do emprego de chapas de madeira ou chapa metálica com a utilização de elementos de ligação.

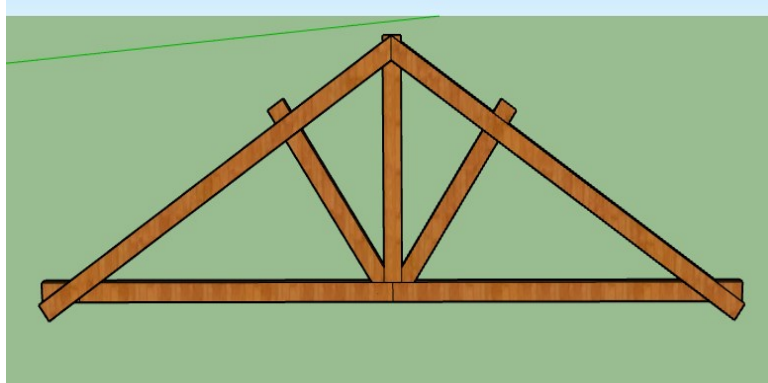
O exemplo a seguir irá considerar as ligações em corte duplo, as demais ligações que o software também é capaz de calcular não serão tratadas em exemplos práticos.

4.1. Validação da Ferramenta Computacional

Para verificação dos cálculos será utilizado um exemplo prático para validar a ferramenta computacional desenvolvida. Um exemplo bastante comum na prática de estruturas de madeiras encontradas cotidianamente são as tesouras que são responsáveis por transmitir os esforços da estrutura superior que é composta pelas telhas, ripas, caibros, além dos forros e demais cargas que são previstas em projeto. Para a resolução de uma ligação entre três elementos de madeira que fazem parte da tesoura, foi proposto um exemplo de cálculo em que serão ligados os elementos por meio de pinos metálicos (parafusos ou pregos) de forma que possa ser verificada as condições de segurança para a proposição. O exemplo adotado a seguir foi baseado em (Pfeil, 2003), com algumas modificações para melhor interpretação.

A Fig. 11 foi construída graficamente pelo programa Sketchup da Autodesk, a fim de ilustrar o problema que será resolvido pela ferramenta computacional. Trata-se de uma tesoura com 3 metros de vão que não se comporta como treliça, visto que os esforços de momento são gerados devido ao não travamento dos banzos superiores. A tesoura tem uma altura definida com cerca de 1 metro.

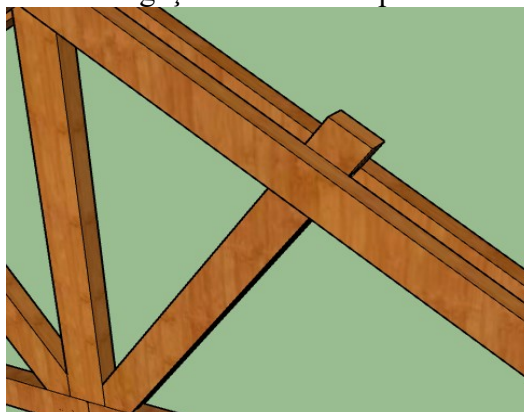
Figura 11 – Representação Gráfica de Tesoura com Ligação em Corte Duplo.



Fonte: Autor (2021).

A resolução do problema que será descrito não visa a obtenção de resolução de todas as ligações entre os elementos de madeira da tesoura, mas sim para apenas uma ligação entre os três elementos que é o corte duplo, ilustrada na Fig. 12. A ligação a ser verificada no exemplo é a ligação do banzo superior que liga o banzo diagonal fazendo um ângulo de 90° entre estes elementos. Vale salientar que nas demais ligações, como no encontro dos elementos de madeira no centro da tesoura, seria recomendável a utilização de uma chapa dentada para ligação, o que não é o objetivo do exemplo verificar essa condição.

Figura 12 – Ligação de Corte Duplo a ser dimensionada.



Fonte: Autor (2021).

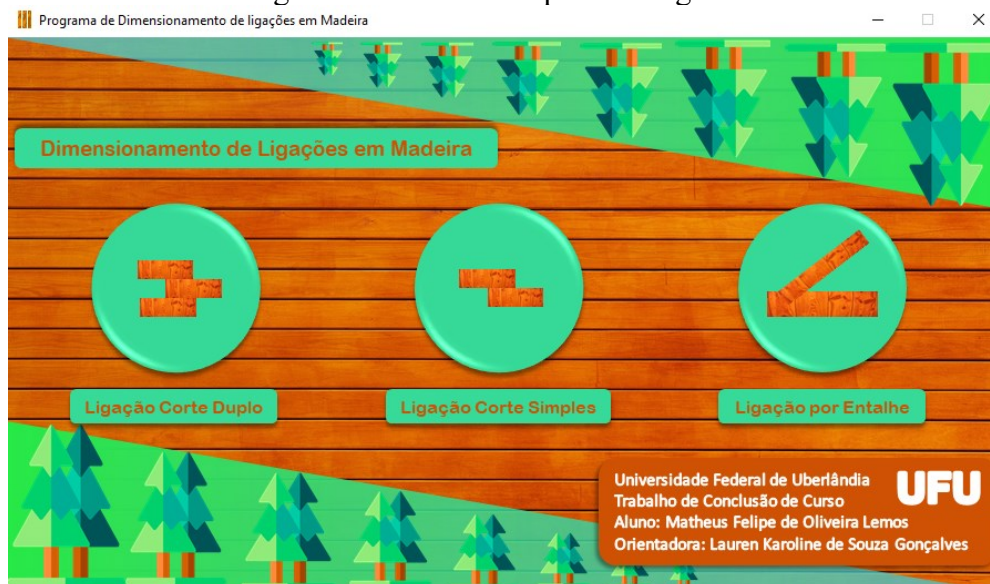
Para a resolução de uma tesoura, deve-se primeiro definir quais são as cargas que atuam na estrutura. Em um telhado convencional geralmente são aplicadas as cargas das telhas, o peso próprio da estrutura, o forro caso seja instalado, cargas variáveis (exemplo: pessoa em cima do telhado), e cargas de vento (predominante em galpões de madeira). A obtenção dos esforços deve ser calculada por meios manuais ou com a aplicação de um software auxiliar que possa calcular estes esforços solicitantes.

A ferramenta computacional desenvolvida não calcula os esforços solicitantes da estrutura, mas sim a combinação de ações que atuam nas ligações. Sendo assim, por exemplo, a carga permanente proveniente do telhado será dada pelos esforços internos que são obtidos em um diagrama de esforço normal, sempre considerando a situação mais desfavorável à peça. O mesmo ocorre para as cargas de vento, além de que estas são calculadas com base na norma ABNT NBR 6130:1988. Ao calcular os diagramas de esforços normais dos elementos tem-se então o valor da força normal gerada correspondente à ação do vento.

Após o cálculo dos esforços solicitantes da ligação para as cargas permanentes, cargas variáveis e cargas de vento, pode-se calcular as combinações de ações que são realizadas pela

ferramenta computacional. Porém antes disso, a ferramenta necessita de outras informações para que o cálculo seja realizado. A imagem a seguir mostra a tela inicial do programa que traz os diferentes tipos de ligação a ser selecionado. No exemplo da ligação da tesoura a ser dimensionada será considerada ligação dupla como opção apresentada na Fig. 13.

Figura 13 – Tela Principal do Programa.



Fonte: Autor (2021).

Ao clicar na ligação por corte duplo, surgirá uma nova tela para o usuário para que o mesmo entre com os dados do seu projeto. A tela de dimensionamento do corte duplo está ilustrada na Fig. 14, sendo que a primeira escolha do usuário é definir qual será o elemento de ligação, ou seja, a ligação será por pinos metálicos (parafusos ou pregos), ou por pinos de madeira (cavilhas). Além disso, é necessário selecionar o ângulo que será considerado entre as peças de madeira, neste caso $\alpha = 90^\circ$, e clicar em confirmar, como ilustra a Fig. 14. No exemplo será considerado pino metálico do tipo parafuso e após sua seleção, é necessário escolher o diâmetro do parafuso adotado que no caso será de 12.5 mm, como indica a Fig. 15.

Figura 14 – Tela inicial para dimensionamento de ligação em corte Duplo.



Fonte: Autor (2021).

Figura 15 – Tela escolha do pino metálico.

Dimensamentor Corte Duplo

Ligação Corte Duplo

Comprimento da ligação

t1 t2 t3

Tipo de ligação

Tipo de madeira

Ações Solicitantes

Resultados e Cálculo

Desenho

Ligação Parafusada

☒ Ligação Por Prego

Opção de Escolha: 1

Opções	Bitola	d(mm)	l(mm)	Penetração...
1	17x21	3	51	36
2	17x24	3	57	36
3	17x27	3	63	36
4	17x30	3	69	36

Resistência a compressão dos aços do prego: 600 MPa

Bitola(mm): Comprimento do Prego(mm):

Diâmetro do Prego (mm): Penetração mínima(mm):

☒ Ligação Parafusada

Resistência a compressão dos aços dos parafusos: 240 MPa

Escolha do diâmetro (mm): 12.5

Diâmetro (cm)	Diâmetro (pol)
1.25 1/2"	
1.6 5/8"	
1.9 3/4"	
2.2 7/8"	

Confirmar

Fonte: Autor (2021).

Para calcular a estrutura representada na Fig. 12, no exemplo prático serão adotadas as seguintes considerações para a madeira: Dicotiledônea C60, classe de carregamento (longa duração), madeira de (2º) categoria, classe de umidade (3), madeira serrada, como ilustrado na Fig. 16. Sobre as forças atuantes na peça de madeira, serão consideradas os seguintes esforços axiais na diagonal: Força Permanente (F_g) de 6 kN e Força variável de vento (F_v) de 8 kN. O tipo de ligação a ser empregada será por meio da utilização de parafusos com diâmetro de 12,5 mm com resistência do parafuso (f_{yk}) de 240 MPa. Sobre a seção das madeiras de ligação o banzo superior e o banzo diagonal terão a mesma seção de 7,5 cm x 15,0 cm.

Figura 16 – Tela tipo de madeira.

Dimensamentor Corte Duplo

Ligação Corte Duplo

Comprimento da ligação

t1 t2 t3

Tipo de ligação

Tipo de madeira

Ações Solicitantes

Resultados e Cálculo

Desenho

Tipo de Madeira

☒ Dicotiledônea ☐ Conífera

Classe de Resistência: C60

Características mecânicas da Madeira

$f_{c0,k}$ (MPa): 60

$E_{c0,m}$ (MPa): 24500

$f_{v0,k}$ (MPa): 8

$\rho_{aparente}$ (kg/m³): 1000

Características físicas da Madeira

Classe de carregamento: Longa Duração

Categoria: 2

Tipo de madeira: Madeira Serrada

Classe de umidade: 3

Defina as dimensões do elemento de Madeira

Espessura do elemento t1(cm): 7.5

Comprimento de ligação(cm): 15

Espessura do elemento t2(cm): 7.5

Largura da ligação(cm): 7.5

Espessura do elemento t3(cm): 7.5

Confirmar

Fonte: Autor (2021).

A próxima etapa consiste na aplicação das forças que atuam nas ligações, no caso o programa recebe os valores de força axiais permanentes, ações variáveis gerais e de vento, com

isso, a ferramenta calcula as combinações de ações e adota o maior entre elas para o cálculo resultante dos parafusos. Nas ações permanentes consideram-se ações de grande variabilidade, em situação desfavorável, e as ações correntes como pressão dinâmica do vento. A ferramenta considera os valores negativos como representação para forças axiais de compressão e valores positivos como de tração. No exemplo prático adotado as forças solicitantes atuantes na estrutura são de compressão, logo seus valores são entrados no programa com sinal negativo como indica a Fig. 17, caso seus valores fossem de tração deveriam ser fornecidos ao programa o sinal positivo antes do número.

Figura 17 – Tela para inserção das ações solicitantes.

Fonte: Autor (2021).

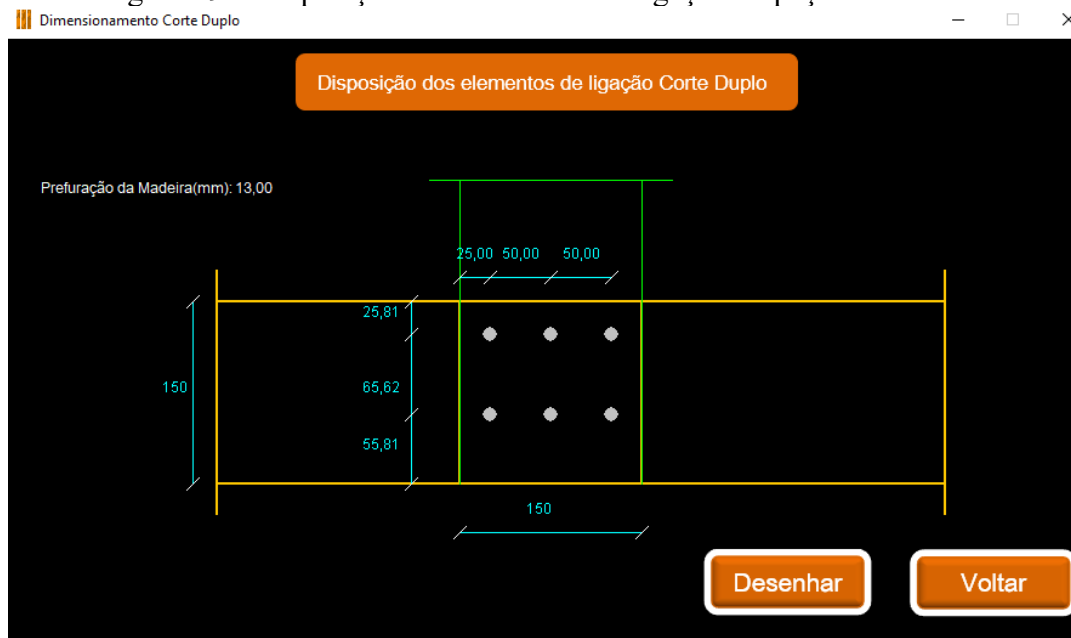
Recebendo estes valores e clicando no botão confirmar, tem-se então a seguir a tela que mostra os resultados finais do cálculo. Nesta tela constam as principais informações de resposta para o cálculo da ligação de madeira. A Fig. 18 ilustra os resultados na tela de resultados do programa.

Figura 18 – Tela de Resultados da Ligação para o usuário.

Fonte: Autor (2021).

A Fig. 18, traz as principais informações dos resultados, tais como a resistência ao embutimento da madeira, diâmetro do elemento de ligação, a resistência ao corte do parafuso para um único corte e o número mínimo necessário para efetiva ligação dos elementos. Logo o total de parafusos será de 12, visto que a face oposta da ligação também deverá ser ligada a peça que se encontra no meio.

Figura 19 – Disposição dos elementos de ligação na peça de madeira.



Fonte: Autor (2021).

Na Fig. 19 tem-se o desenho gerado pelo programa. Este desenho é apenas uma sugestão para execução, o usuário tem a liberdade de tomar os resultados gerados pela ferramenta e realizar o projeto estrutural outro programa de computador, visto que o importante é respeitar a distância mínima entre os elementos de ligação recomendada pela norma. O desenho proposto segue estas recomendações, de acordo com o tipo de desenho de ligação, ângulo de ligação entre os elementos e também as ações caso sejam de tração ou compressão como mencionado anteriormente.

A representação na vertical possui números com mais de 2 casas decimais, para obtenção de uma maior precisão, porém em algumas situações de cálculo o programa pode apresentar valores numéricos de distância entre os elementos que o torna impraticável na execução. Afim de corrigir isso, em alguns casos é recomendável que o usuário adote números praticáveis para a execução da ligação, no caso por exemplo a distância de 55,81 mm seria de 56 mm, a distância no meio de 65,62, seria de 67, logo o espaço que resta seria de 27 mm já que a peça tem 150 mm de espaço disponível na vertical para ligação. Respeitando os valores mínimos, o usuário também poderia alterar essas medidas para números múltiplos por 5 para facilitar durante o processo de execução.

A linha verde, na Fig. 19, representa o elemento de ligação que forma o ângulo de 90°, e a linha marrom-alaranjado claro representa o elemento de ligação contínuo. Há também a informação da pré-furação da madeira para a execução da ligação. No desenho temos as cotas de distanciamento dos elementos de ligação e a representação deles por meio de círculo preenchidos por uma cor branca.

Na Fig. 19, repare que na parte superior encontra-se a opção de gerar PDF. Esta opção, permite que o usuário gere uma memória de cálculo em arquivo pdf. Este arquivo traz informações mais completas sobre o dimensionamento da ligação de madeira. Deste modo, o

usuário pode salvar estas informações e exportá-las para outras plataformas que desejar. Este memorial traz todas as informações necessárias para o perfeito dimensionamento das ligações de madeira, constam informações tais como: as características da madeira, as ações solicitantes, os elementos de ligação e suas principais considerações de cálculo. Dessa forma, a ferramenta torna-se mais completa e também mais confiável para o usuário, pois o mesmo tem as informações do que o software considera nos seus cálculos, trazendo segurança no momento do dimensionamento.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo a criação de uma ferramenta computacional capaz de realizar os cálculos de dimensionamento de ligações em estruturas de madeira, com a utilização da linguagem de programação Java, obtendo assim os resultados para a execução das ligações de madeira. Para avaliar a aplicabilidade da ferramenta foi proposto um exemplo prático, para que a ferramenta pudesse calcular a quantidade de parafusos necessários para resistir às ações solicitantes juntamente com a madeira escolhida, além do desenho da disposição dos elementos e memória de cálculo completa.

O software utiliza informações e métodos de cálculo da ABNT NBR 7190:1997, e calcula todos os parâmetros necessários para definir a quantidade de elementos de ligação, tais como pinos metálicos, anéis metálicos e cavilhas, além da sua disposição no elemento de ligação, exceto para ligações com ângulos diferentes de 0° e 90° . Este também faz a verificação das resistências aos esforços de normais e de cisalhamento para as ligações por entalhe inclinadas, comuns em estruturas de telhado.

A ferramenta demonstrou ser capaz de realizar o dimensionamento de modo rápido e dinâmico. Esta ferramenta não faz análise global da estrutura, mas pode ser utilizada para auxiliar no dimensionamento pontual de peças de madeira a partir de corte duplo, simples ou por entalhe inclinado. O uso da ferramenta ficou relativamente simples, mas a sua utilização requer alguns conhecimentos básicos para entrada no sistema.

A ferramenta computacional foi desenvolvida com o intuito de ser um instrumento de auxílio para o cálculo das estruturas de madeira, ou seja, estruturas que são simples e práticas, e que se encaixem nas situações de cálculo da ferramenta. Em alguns projetos muito específicos e complexos, o instrumento digital pode não ser capaz de realizar o dimensionamento adequadamente para a situação que se pretende verificar as resistências e a efetiva transmissão dos esforços solicitantes. Deste modo, é recomendável que o cálculo seja feito de outra forma conveniente para o usuário, seja utilizando as equações e cálculo à mão ou em outro software.

Finalmente, visando contribuir para essa progressão de pesquisas e aplicações nesta área, recomenda-se:

- Realizar mais estudos sobre os métodos de cálculo das ligações utilizados pela norma ABNT NBR 7190:1997 e propor uma ferramenta que considere anéis metálicos em ligações de corte duplo;

- Expandir a ferramenta para análise global das estruturas de madeira.

6. REFERÊNCIAS

ANDRADE, C. M. G. **Software Livre: Alguns Aplicativos Científicos para Engenharia**. In: Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2004, Brasília. Anais do Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia - COBENGE, 2004.

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

BARBOSA, S; BRANCO, J.M.; FERREIRA, F. **Reforço de ligações tradicionais de madeira. Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas**. Ed. LNEC. Serie III. N.º3. ISSN 2183-8488. (março 2017) 21-34.

CONROD, P; TYLEE, L. **Learn Java GUI Applications: A JFC Swing NetBeans Tutorial**. 8 ed. Washington: Kidware Software LLC, 2015.

DEVMEDIA. **Java Swing: Conheça os componentes JTextField e JFormattedTextField**. Disponível em: <https://www.devmedia.com.br/java-swing-conheca-os-componentes-jtextfield-e-jformattedtextfield/30981>. Acesso em: 03 abril. 2021.

KOZERSKI, C.E. **Análise comparativa de ligação com pinos metálicos, pregos e parafusos em estruturas de madeira**. Monografia – Curso de Especialização em Projetos de Estruturas, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2012.

MAURO SÔNEGO. **Setores Apontam Carência de Profissionais Qualificados**. Disponível em: <http://www.engplus.com.br/noticia/geral/2020/setores-apontam-carencia-de-profissionais-qualificados>. Acesso em: 03 abril. 2021.

PALMA, P.M. **Ligações tradicionais em estrutura de Madeira – Avaliação experimental do seu comportamento mecânico**. Dissertação (Mestrado) -Instituto Superior Técnico no âmbito do protocolo de cooperação com o LNEC, Universidade Técnica de Lisboa.

PFEIL, W. **Estruturas de Madeira**. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC 2013. CALIL JUNIOR, Carlito, Dimensionamento de elementos estruturais de madeira. São Paulo: Manole, 2003.

SCHILD, H; SKRIEN, D. **Java Programming: A Comprehensive Introduction**. Nova York, The McGraw-Hill Companies, 2013.

SHIGUE, E.K. **Difusão da Construção em Madeira no Brasil**. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

WOOD SECOND. **Ligações de Madeira – Canto nos topos**. Disponível em: <http://woodsecondchance.blogspot.com/2010/05/ligacoes-de-madeira-canto-nos-topos.html>. Acesso em: 5 abril. 2021.