

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADEMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO CIVIL

BIANCA JAGHER FOGAÇA
LEONARDO DIAS DOS REIS

**ELABORAÇÃO DE UMA FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA
DIMENSIONAMENTO DE PILARES DE MADEIRA COM SEÇÃO
COMPOSTA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2014

BIANCA JAGHER FOGAÇA
LEONARDO DIAS DOS REIS

**ELABORAÇÃO DE UMA FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA
DIMENSIONAMENTO DE PILARES DE MADEIRA COM SEÇÃO
COMPOSTA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão 2, do Curso de Engenharia de Produção Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Curitiba, sede Ecoville, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro.

Orientadora: Prof^a. Dra. Elisabeth Penner

Co-Orientador: Eng Cristofer Scremim

CURITIBA
2014

DEDICATÓRIA

As nossas amadas mães, Marilúcia Jagher Fogaça e Vera Lucia Dias dos Reis, pelo carinho, apoio, dedicação e pelos deliciosos quitutes nas horas de execução deste trabalho.

Aos nossos estimados pais, Pedro Costa Fogaça e Luiz Alberto Caldeira dos Reis, pelo exemplo, caráter e bondade.

Aos nossos irmãos, Bruno Jagher Fogaça e Letícia Dias dos Reis, pelo companheirismo e lealdade de vários anos.

À professora orientadora deste trabalho, Elisabeth Penner, por todo o conhecimento e experiência transmitidos e pelas agradáveis conversas sobre os mais variados assuntos.

EPÍGRAFE

Não existem métodos fáceis para resolver problemas difíceis
(DESCARTES, René)



Ministério da Educação
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
Campus Curitiba – Sede Ecoville
Departamento Acadêmico de Construção Civil
Curso de Engenharia de Produção Civil

FOLHA DE APROVAÇÃO

ELABORAÇÃO DE UMA FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA DIMENSIONAMENTO DE PILARES DE MADEIRA COM SEÇÃO COMPOSTA

Por

BIANCA JAGHER FOGAÇA E LEONARDO DIAS DOS REIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, defendido e aprovado em 18 de março de 2014, pela seguinte banca de avaliação:

Prof^a. Orientadora – Elisabeth Penner, Dr.
UTFPR

Prof. Wellington Mazer, Dr.
UTFPR

Eng,. Cristofer Scremim

UTFPR - Deputado Heitor de Alencar Furtado, 4900 - Curitiba - PR Brasil
www.utfpr.edu.br dacoc-ct@utfpr.edu.br telefone DACOC: (041) 3373-0623

OBS.: O documento assinado encontra-se em posse da coordenação do curso.

RESUMO

FOGAÇA, Bianca Jagher; REIS, Leonardo Dias dos. **Elaboração de uma ferramenta computacional para dimensionamento de pilares de madeira com seção composta**. 2014.50f

Trabalho de conclusão de curso em Engenharia de Produção Civil - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

Esse trabalho de conclusão de curso consiste no desenvolvimento de uma ferramenta computacional capaz de verificar a estabilidade de pilares de madeira de seção composta com solidarização descontínua, respeitando os limites de segurança e utilização referenciados pela Norma Brasileira 7190/97 ao usuário do programa. Após realização de testes para verificação da confiabilidade da ferramenta, esta se mostrou apropriada para a verificação de pilares de madeira comuns na construção civil.

Palavras - chave: Dimensionamento de pilares de madeira; Estruturas de madeira; Ferramenta computacional; Seção composta.

ABSTRACT

FOGAÇA, Bianca Jagher; REIS, Leonardo Dias dos. : **Formulation of a computational tool for design of pillars with composite wood section.** 2014.50p
Work of completion course in Civil Production Engineering - Federal Technological University of Paraná, Curitiba, 2014.

This work of course completion consists in the development of a computational tool able to verify the stability of timber composed with solidarization discontinuos, following the safety and use limits, referenced by the Brazilian Standard 7190/97 to the user program. After performing tests to verify the reliability of the tool, which proved suitable for the verification of pillars of common wood in building construction.

Keywords: Design of timber, wooden structures; computational tool; Section composed.

LISTA DE FIGURAS

Figura1 - Pilar com espaçadores interpostos em residência em São Luiz do Purunã	19
Figura 2 – Comprimento de Flambagem $L_{fl} = k.L$	24
Figura 3 - Elementos compostos contínuos justapostos	27
Figura 4 - Elementos compostos contínuos justapostos	27
Figura 5 - Interface do programa de dimensionamento.....	30
Figura 6 - Interface da janela de verificação da estabilidade	31
Figura 7 - Tela de exibição da largura mínima da seção transversal	32
Figura 8 - Tela de exibição para verificação da estabilidade do pilar	33
Figura 9 - Tela de exibição com o valor da área da seção transversal	33
Figura 10 - Tela de exibição com o valor do momento de inércia em torno do eixo x	34
Figura 11 - Tela de exibição do valor do momento de inércia em torno do eixo y	34
Figura 12 - Tela de exibição do valor do β	34
Figura 13 - Tela de exibição do valor do I_y efetivo	35
Figura 14 - Tela de exibição do valor de W_2	35
Figura 15 - Tela de exibição de verificação das condições de segurança	35
Figura 16 - Tela de exibição da não verificação das condições de segurança	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
NBR	Norma Brasileira
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
VBA	<i>Microsoft Visual Basic</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

α	Coeficiente de acordo com o espaçador
β	Coeficiente redutor adimensional
$f_{c0,k}$	Valor característico da resistência à compressão paralela às fibras
$f_{c0,d}$	Valor de cálculo da resistência à compressão paralela às fibras
L_0	Comprimento de flambagem
K_{mod}	Coeficiente de modificação
K	Parâmetro de flambagem
N_d	Força Normal de Cálculo
b	Largura da seção transversal do pilar
h	Altura da seção transversal do pilar
n	Número de pilares
e_d	Excentricidade de cálculo
a_1	Distância entre os centros de gravidade da seção composta e da peça simples
L_1	Comprimento do intervalo entre os espaçadores

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 OBJETIVOS	20
1.1.1 OBJETIVO GERAL.....	20
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
1.2 JUSTIFICATIVA	20
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1 PILARES	21
2.2 SEGURANÇA EM PROJETOS DE ESTRUTURAS DE MADEIRA.....	21
2.3 FLAMBAGEM.....	23
2.4 ESTABILIDADE DE PILARES DE SEÇÃO TRANSVERSAL MACIÇA	24
2.5 ESBELTEZ.....	25
2.6 PEÇAS COMPOSTAS	26
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	28
4 DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA COMPUTACIONAL	29
4.1 INTERFACE DO PROGRAMA COMPUTACIONAL.....	30
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
6 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	38
REFERÊNCIAS	39
APÊNDICE A	41

1 INTRODUÇÃO

A madeira é um dos materiais usados na construção civil mais antigos, precedente à pedra, e pioneira na utilização em pilares e vigas. Pode ser obtida em vasta quantidade por um preço consideravelmente baixo, possui bom apelo ambiental, viabiliza emendas simples e ligações precisas além de combinar soluções estruturais e arquitetônicas com beleza, confortos acústico, térmico e visual e com segurança (PETRUCCI, 1998).

Diversas aplicações da madeira como soluções estruturais são empregadas em construções situadas na área rural, urbana ou até mesmo nas proximidades marítimas, principalmente considerando-se ambientes de grande variação de temperatura e de umidade (SORIANO, 2001).

Possui determinadas e distintas características, dentre elas o reduzido consumo de energia de processamento do material, as boas características de isolamento térmico e elétrico, a alta resistência específica e a facilidade de manuseio tanto por máquinas como por mãos humanas. Também atendem a diferenciados tipos de esforços, durezas e pesos específicos (ZENIDI).

A beleza das construções de madeira muitas vezes está relacionada a precisão de seus elementos e de sua montagem. Incorpora as habilidades artesanais e a tradição, além do aspecto rústico e campestre em meio a um ambiente dominado por tecnologias construtivas urbanas. Não omitem o desgaste com o tempo, porém demonstram sua beleza como um material eterno, vivo e em transformação constante (BRAGHIERI, 2005).



Figura1 - Pilar com espaçadores interpostos em residência em São Luiz do Purunã
Fonte: Autoria Própria.

Mediante grande tendência ambiental, arquitetônica e de minimização de custos, busca-se pré dimensionar pilares de madeira com seção composta e solidarização descontínua de forma otimizada, reduzindo o excesso de materiais que possam gerar resistências de projeto sub-utilizadas nas edificações em geral.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho de pesquisa é o de elaborar uma ferramenta computacional para a verificação da estabilidade do dimensionamento de pilares de madeira de seção composta com solidarização descontínua.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho de pesquisa são:

- Criar planilhas eletrônicas que possam contemplar uma gama de entrada de dados para diferentes situações de geometria, de resistências e de carregamentos;
- Elaborar no *software* uma interface dinâmica e simplificada do programa com o usuário.

1.2 JUSTIFICATIVA

Com este trabalho pretende-se criar uma ferramenta computacional que possa verificar a estabilidade e o atendimento as condições de segurança de acordo com as normas brasileiras. Desta forma, os resultados deste trabalho poderão auxiliar projetistas para que a madeira como material estrutural seja aproveitada de uma maneira mais adequada.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 PILARES

Os pilares são elementos estruturais submetidos à compressão simples ou à flexocompressão por aplicação de carga centrada ou com excentricidade que provocam momento fletor. Esses momentos fletores ainda podem ser amplificados por cargas transversais, tais como a ação do vento. Podem ser divididos entre estruturas de seção maciça e de seção composta (PFEIL, 2003).

Segundo Pfeil (2003), em peças de madeira que sofrem compressão na direção paralela às fibras, as seções transversais mais utilizadas são: seção maciça de madeira roliça, seção maciça de madeira serrada com seção retangular normalmente com dimensões padronizadas, seção maciça de madeira lavrada usualmente seção retangular com lados de 20 a 40 cm, seção maciça de madeira laminada colada com seções retangulares em “T” ou “I”, seção composta de madeira serrada ou laminada com ligação descontínua entre as peças, seção composta de madeira roliça com tala de madeira pregada e seção composta de madeira serrada ou laminada com ligação contínua nas interfaces.

Os pilares podem ser localizados em sistemas de contraventamento, componentes de treliças, pilares isolados ou até mesmo em pórticos (PFEIL, 2003).

2.2 SEGURANÇA EM PROJETOS DE ESTRUTURAS DE MADEIRA

A definição de segurança de uma estrutura, independente do material, está atrelada ao suporte de ações solicitantes durante a vida útil, satisfazendo suas condições funcionais de construção (ZAGOTTIS, 1981 *apud* SZÜCS, 2008).

A segurança de uma estrutura de madeira com a ocorrência de prováveis estados limites será garantida pelo seguimento das condições construtivas que são detalhadas pela NBR 7190 e sua obediência às condições analíticas de segurança como, por exemplo, que a solicitação de cálculo seja sempre menor ou igual a resistência de cálculo (NBR 7190, 1997).

Os estados limites são estados que, quando ocorrem, repetem ou duram podem causar efeitos estruturais que não sigam as condições da estrutura para o uso normal da construção (NBR 7190, 1997).

Quando os estados limites são ultrapassados, podem levar ao comprometimento do desempenho correto da estrutura ao objetivo da construção. São divididos em estados limites últimos e estados limites de utilização. (CARLITO, 2003).

Quando há ocorrência dos estados limites últimos, é determinada a sua interdição, em parte ou em todo, da utilização da construção. Perda de equilíbrio parcial ou global, ruptura ou deformação plástica excessiva dos materiais, instabilidade por deformação, ressonância (instabilidade dinâmica) e transformação da estrutura são algumas das principais características desse estado limite (CALIL JÚNIOR, 2003).

Segundo Szücs (2008, p. 46), o distanciamento entre as tensões de serviço e as tensões de ruptura é determinado pelo método das tensões admissíveis. Quando não ocorre um comportamento linear na estrutura este modelo é aplicado, porém somente é válido se a relação tensão-deformação manter-se linear ou se a geometria tiver pequena alteração por meio dos deslocamentos gerados pelo carregamento. Normalmente, as estruturas possuem comportamento considerado linear durante uma faixa do carregamento, porém na fase de ruptura a linearidade é perdida.

A ocorrência, repetição ou duração dos estados limites de utilização causa efeitos na estrutura que não atendem as condições normalizadas para a utilização normal da construção e que possam afetar a sua durabilidade. Deformações ou deslocamentos excessivos que influenciem o uso normal da construção, comprometam a sua estética, danificam o correto funcionamento de instalações ou até mesmo equipamentos e materiais de acabamento e vibrações de amplitude em excesso que possam causar sensação de desconforto aos usuários ou que ocasionem danos à construção são algumas das características desse estado limite (CARLITO, 2003).

As ações podem ser divididas em permanentes, variáveis e excepcionais. As permanentes possuem pequena variação durante a vida útil da construção. Já as variáveis apresentam uma alteração significativa e, por fim, as

excepcionais apresentam duração muito curta, com pouca probabilidade de ocorrência no mesmo tempo de vida da construção (CARLITO, 2003).

Em estruturas de madeira, as ações que normalmente ocorrem e que devem ser avaliadas são as cargas permanentes, as cargas acidentais verticais, o vento, os impactos verticais e laterais, a força centrífuga, as forças longitudinais e qualquer outra força que possa agir em um determinado caso em especial (CARLITO, 2003).

O peso próprio da estrutura, em elementos constituídos de madeira, deve ser analisado com teor de umidade de 12%. Caso não exista a determinação específica desse índice por meio de experimentos, admite-se adotar o valor da densidade aparente de acordo com a classe de resistência da madeira em questão. O peso próprio da estrutura e o das partes fixas não estruturais constituem a carga permanente. Já as cargas acidentais verticais devem estar nas posições mais desfavoráveis para a estrutura e serem avaliadas como de longa duração (CARLITO, 2003).

2.3 FLAMBAGEM

A flambagem é o fenômeno que ocorre em peças esbeltas (peças onde a área de secção transversal é pequena em relação ao seu comprimento) pela perda de sua forma e geometria originais fazendo com que essas peças acomodem-se em outra posição de equilíbrio. Pode ocorrer em barras comprimidas na direção axial, em vigas, em chapas, em arcos, dentre outros (MARGARIDO, 2003).

O comprimento de flambagem de uma haste é a medida entre os pontos de momento nulo da haste que sofre compressão, deformada lateralmente, cujas posições dependem das condições de apoio iniciais. Para uma haste birrotulada, por exemplo, o comprimento de flambagem é o próprio comprimento da haste (PFEIL, 2010).

Na figura 2 estão ilustrados os comprimentos de flambagem teóricos de barras que possuem extremos rotulados, livres ou engastados. Esses comprimentos podem ser observados pela forma da elástica da haste que sofreu deformação e,

portanto, de maneira puramente geométrica. Também podem ser determinados por processos analíticos (PFEIL, 2010).

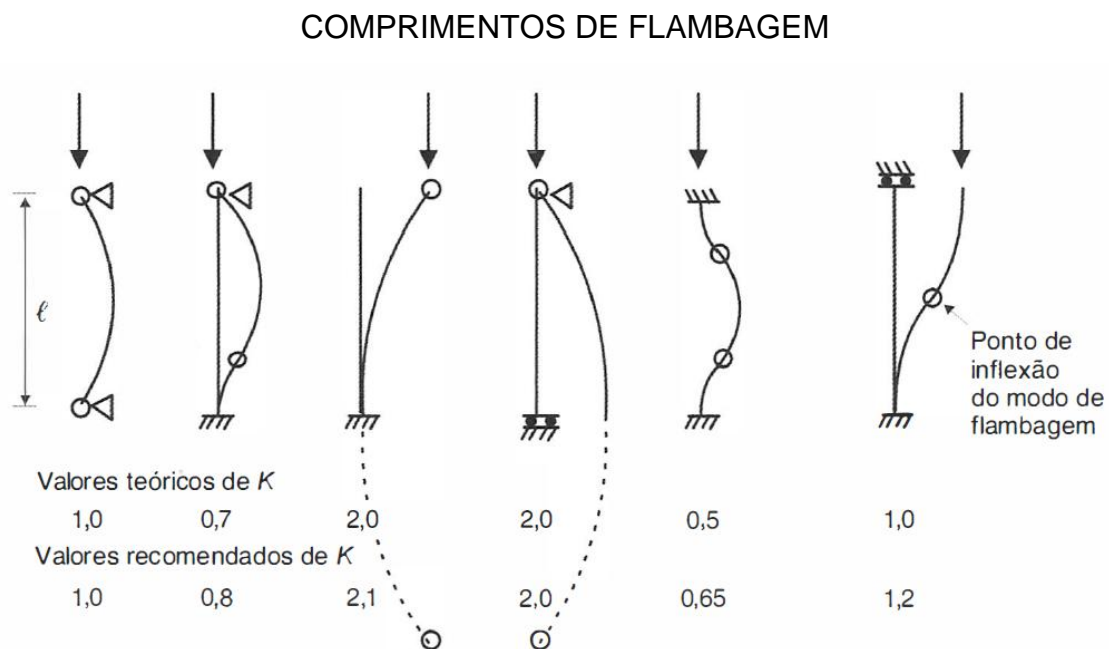


Figura 2 – Comprimento de Flambagem $L_{fl} = k.L$

Fonte: PFEIL, 2010.

Em função da natureza deformável das ligações em estruturas de madeira, o efeito favorável do engastamento nas extremidades é normalmente desprezado, adotando como comprimento de flambagem o próprio valor do comprimento da coluna, ou seja, $l_{fl} = l$. Exceto em elementos em que uma extremidade é engastada e a outra livre, em que $l_{fl} = 2l$ (PFEIL, 2000).

Nos pilares de madeira compostos tanto com espaçadores interpostos quanto com chapas laterais de fixação, o comprimento de flambagem l_{fl} é equivalente a distância entre os espaçadores.

2.4 ESTABILIDADE DE PILARES DE SEÇÃO TRANSVERSAL MACIÇA

A estabilidade de pilares de seção composta por solidarização contínua pode ser determinada como maciça, porém com algumas restrições determinadas pela NBR 7190, 1997.

Os elementos solidarizados continuamente que possuem seção transversal em I, em T ou em caixão e são ligados rigidamente por meio de pregos, podem ser dimensionados como peças maciças com área de seção transversal correspondendo ao somatório das áreas dos elementos que a compõem. O valor do momento de inércia efetivo do elemento é a multiplicação do momento de inércia da seção total da peça, I_{th} , pelo coeficiente de minoração α_r que é função da geometria da peça. O equacionamento é dado a seguir (NBR 7190, 1997).

$$I_{ef} = \alpha_r I_{th} \quad (1)$$

O valor do coeficiente de minoração α_r é de 0,95 para seções transversais em T e de 0,85 para seções I ou caixão (NBR 7190, 1997).

2.5 ESBELTEZ

O índice de esbeltez é o cálculo da razão entre o comprimento teórico de referência da peça e o raio de giração mínimo de sua seção transversal. Este raio de giração mínimo representa a direção de menor inércia e, portanto, a ocorrência de flambagem é maior (NBR 7190, 1997).

$$\lambda = \frac{L_0}{i_{min}} \quad (2)$$

Com o intuito de evitar que peças estruturais sejam excessivamente esbeltas, as normas fixam limites superiores para o índice de esbeltez (PFEIL, 2010).

De acordo com a NBR 7190, 1997, não é aconselhável o uso de elementos comprimidos com seção retangular cheia ou múltipla em que o comprimento teórico L_0 ultrapasse 40 vezes o valor da dimensão transversal. Em elementos que sofreram tração, o limite é de 50 vezes.

Afim de evitar demasiada flexibilidade nos pilares de madeira, é aconselhável que sejam utilizados valores iguais ou inferiores a 140 para o valor do índice de esbeltez. Alguns autores indicam ainda que, a favor da segurança, esse valor deve

ser menor ou igual a 80, trabalhando assim com pilares curtos, menor ou igual a 40, ou medianamente esbeltos, entre 40 e 80 (CARLITO, 2003).

2.6 PEÇAS COMPOSTAS

As peças compostas são oriundas da necessidade de confeccionar seções de tamanhos variados e não apenas os comerciais, possibilitando assim qualquer dimensão desde que dentro dos critérios normativos. Essa composição de elementos é usualmente utilizada em vigas, pilares ou treliças (SZÜCS, 2008).

Para Szücs, 2008, a junção dos elementos compostos pode ser realizada com a utilização de adesivos adequados ou por meio de cavilhas, parafusos, pregos ou anéis metálicos. Devido à deformabilidade das ligações entre os elementos que constituem a seção transversal, os critérios de segurança para a conferência dos estados limites são idênticos aos apresentados para os elementos maciços, mas com diminuição da rigidez do elemento.

As peças compostas podem ser formadas por elementos justapostos contínuos ou por elementos com ligações descontínua (PFEIL, 2003).

Elementos contínuos são aqueles onde o contato entre as peças ocorre em todo o seu comprimento, diferentemente dos descontínuos que são intermediados por peças interpostas ou por chapas laterais apenas em alguns pontos da estrutura (ARAÚJO, 2003).

TIPOS DE SEÇÕES TRANSVERSAIS SEÇÃO SIMPLES

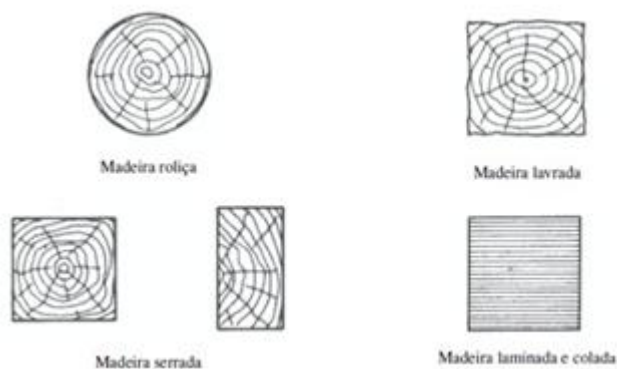


Figura 3 - Elementos compostos contínuos justapostos
Fonte: Araújo, 2003

TIPOS DE SEÇÕES TRANSVERSAIS SEÇÃO COMPOSTA

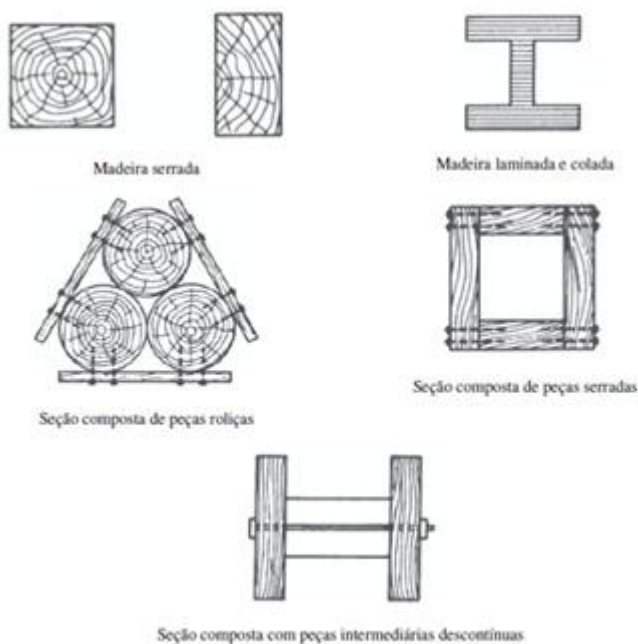


Figura 4 - Elementos compostos contínuos justapostos
Fonte: Araújo, 2003

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a realização deste trabalho de conclusão de curso foram realizadas as seguintes atividades:

1. Desenvolvimento da Fundamentação Teórica, com tópicos relevantes e de vital importância para o entendimento do que será executado;
2. Estimativa de valores correntes das ações em pilares de madeira;
3. Escolha de uma gama de dimensões correntes de pilares de seção composta;
4. Estabelecimento do equacionamento genérico, através da norma brasileira, para determinar a estabilidade do pilar de madeira;
5. Desenvolvimento de um programa computacional para o cálculo das estruturas, utilizando a plataforma *Visual Basic do Microsoft Excel*;
6. Criação da interface com o usuário, utilizando botões simples e imagens;
7. Verificação da confiabilidade da ferramenta, por meio de exercícios resolvidos e planilha de apoio com valores de cargas e pilares correspondes;
8. Conclusão;
9. Elaboração da monografia e defesa do TCC.

4 DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA COMPUTACIONAL

Para o desenvolvimento da ferramenta computacional foi utilizado o *software Microsoft Excel*, com a plataforma de programação do *Microsoft Visual Basic - VBA*.

Inicialmente foi elaborado o *layout* primário, com a criação de dois botões de acesso aos programas de verificação, sendo o primeiro de verificação de flambagem e o segundo de segurança da estrutura de madeira de seção composta com solidarização descontínua.

O botão de verificação de flambagem não deixa aparente para o usuário o valor do índice de esbeltez adotado, fixado em 80, para que o pilar seja classificado como medianamente esbelto. Evitando, assim, pilares curtos ou esbeltos. Pela falta de cálculo de índice de esbeltez, foi considerado a área em planta do pilar. Este sendo considerado, para efeitos de cálculo do índice de esbeltez, como uma seção quadrada e maciça.

Em seguida foram escolhidas as variáveis de entrada do programa. Estas foram definidas como números reais e decimais. Com estas variáveis foi realizado o equacionamento, de acordo com a NBR 7190/97 da ABNT, para verificação da estabilidade e segurança dos elementos verticais estruturais de madeira que foi a última etapa de desenvolvimento do programa.

O algoritmo de desenvolvimento da ferramenta computacional utilizado neste trabalho de pesquisa está no APÊNDICE A. Para o teste de confiabilidade do programa foram utilizados vários exemplos de dimensionamentos em diferentes situações.

Buscou-se o desenvolvimento de uma interface simplificada para que a ferramenta computacional tenha fácil compreensão pelo usuário.

Após finalizada a interface do programa com o usuário e verificada a confiabilidade da ferramenta, foram desenvolvidas as conclusões finais.

4.1 INTERFACE DO PROGRAMA COMPUTACIONAL

A primeira tela que os usuários terão acesso é a demonstrada na Figura 5. A planilha é composta por dois botões, o primeiro de verificação da flambagem e o segundo de verificação da estabilidade do pilar de madeira de seção composta com solidarização descontínua.

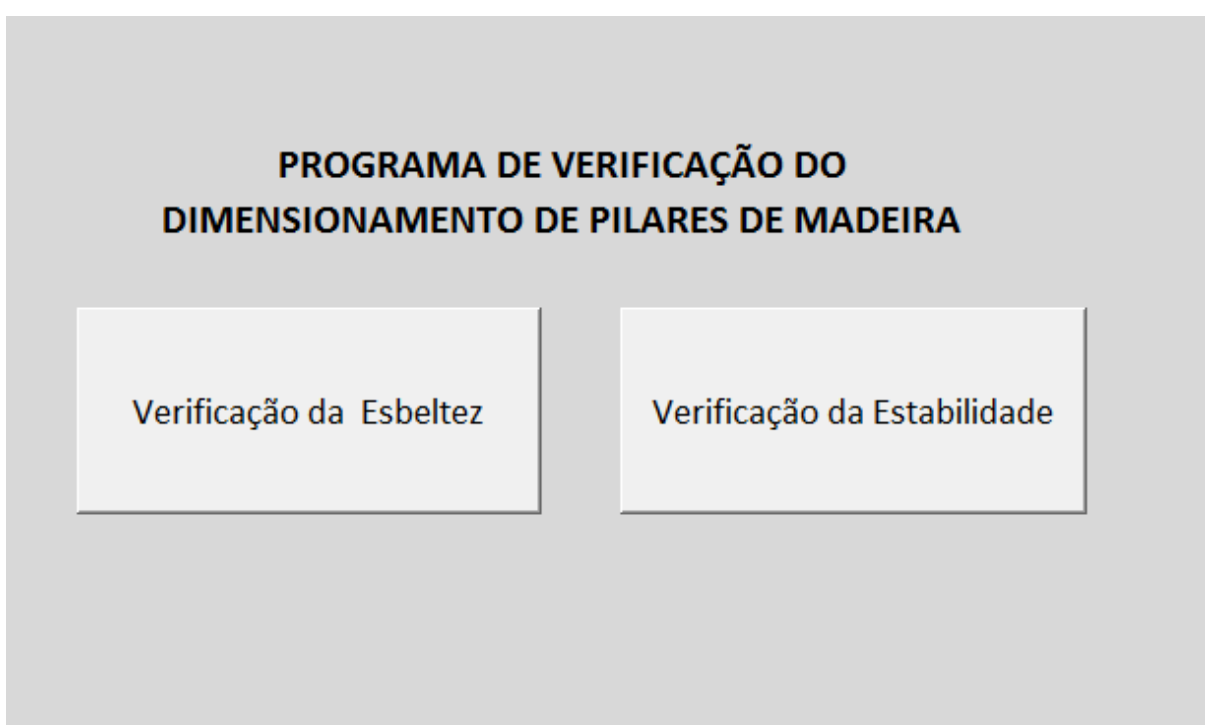


Figura 5 - Interface do programa de dimensionamento

Fonte: Autoria Própria.

Ao clicar no botão "Verificação da Flambagem", a tela aberta é a mostrada na figura 6. O usuário completará com o valor, em metros, do pé direito do pilar, assim como o tipo de engaste.

O parâmetro de flambagem, indicado pela letra "K", e o comprimento de flambagem L_0 são automaticamente completados.

Verificação da Estabilidade do Pilar de Seção Composta

VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE DE PEÇAS COMPOSTAS DE MADEIRA

1. VERIFICAÇÃO DO COMPRIMENTO DE FLAMBAGEM

Comprimento do Pé Direito m

Tipo de apoio

Engastado

Articulado Móvel

Engastado e Articulado

Biengastado

Parâmetro de Flambagem - k m

Comprimento de Flambagem - L_0

Verificação da Estabilidade

Figura 6 - Interface da janela de verificação da estabilidade

Fonte: Autoria Própria.

Após clicar no botão "Verificação da Estabilidade", uma janela será aberta, conforme a figura 7 abaixo, indicando o valor mínimo, em metros, da largura da seção transversal para que o pilar de madeira seja medianamente esbelto.

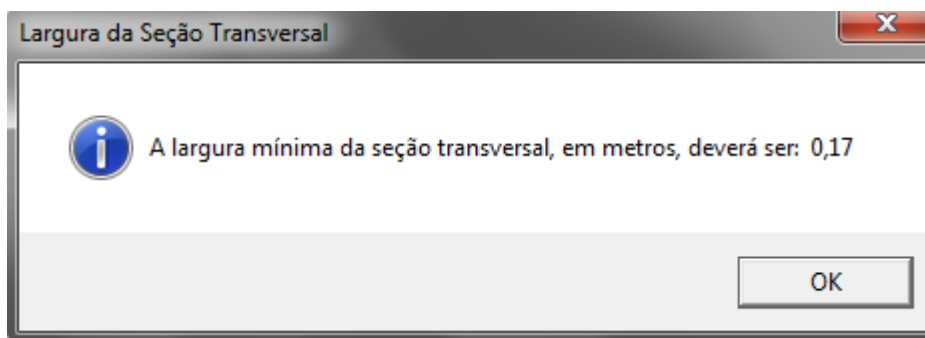


Figura 7 - Tela de exibição da largura mínima da seção transversal

Fonte: Autoria Própria.

O segundo botão, "Verificação da Estabilidade", abrirá uma janela como a mostrada na Figura 8.

O usuário escolherá primeiramente qual o tipo e a classe da madeira que será adotada no pilar. O tipo pode variar em coníferas ou dicotiledôneas e a classe em C20, C25, C30, C40, C50 ou C60. De acordo com a escolha, a célula com o valor da resistência característica da madeira à compressão será automaticamente completada, em KPa.

O coeficiente de modificação (K_{mod}) será completado de acordo com a classe do carregamento e a classe do material empregado ($K_{mod,1}$), a classe de umidade ($K_{mod,2}$) e a categoria da madeira ($K_{mod,3}$). De acordo com a escolha, a célula com o valor da resistência de cálculo da madeira à compressão será automaticamente completada, em KPa.

As células seguintes, como a Força Normal de Cálculo, as dimensões da seção transversal, o número de pilares, a excentricidade de cálculo, o comprimento total da peça, o número de intervalos e o coeficiente de acordo com o tipo de espaçador, também deverão ser preenchidas.

Verificação das Condições de Segurança

VERIFICAÇÃO DE ESTABILIDADE DE PILAR DE MADEIRA COM SEÇÃO COMPOSTA

Tipos e Classes de Madeiras

Conifera C 20

Conifera C 25

Conifera C 30

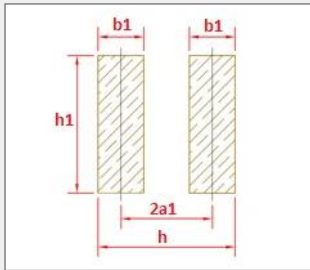
Dicotiledónea C 20

Dicotiledónea C 30

Dicotiledónea C 40

Dicotiledónea C 50

Dicotiledónea C 60



Resistência Característica da Madeira à Compressão - f_{c0k} kPa

Coefficiente de Modificação - k_{mod}

Coefficiente de Modificação 1 - k_{mod1}

Coefficiente de Modificação 2 - k_{mod2}

Coefficiente de Modificação 3 - k_{mod3}

Resistência de Cálculo da Madeira à Compressão - f_{c0d} kPa

Força Normal de Cálculo - N_d kN

Largura da Seção - b m

Comprimento da Seção - h m

Número de pilares - n unid.

Excentricidade de Cálculo - e_d m

Comprimento Total da Peça - L m

Comprimento do intervalo - L_1 m

Coefficiente α Espaçadores Interpostos

Chapas Laterais

Distância entre centros de gravidade - a_1 m

Verificar Estabilidade do Pilar

Limpar

Figura 8 - Tela de exibição para verificação da estabilidade do pilar

Fonte: Autoria Própria.

Ao clicar no botão " Verificar Estabilidade do Pilar", serão exibidas as janelas conforme mostradas nas figuras 9, 10, 11, 12, 13 e 14.

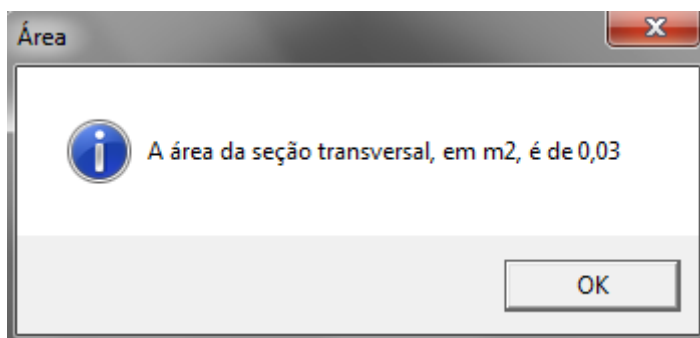


Figura 9 - Tela de exibição com o valor da área da seção transversal

Fonte: Autoria Própria.

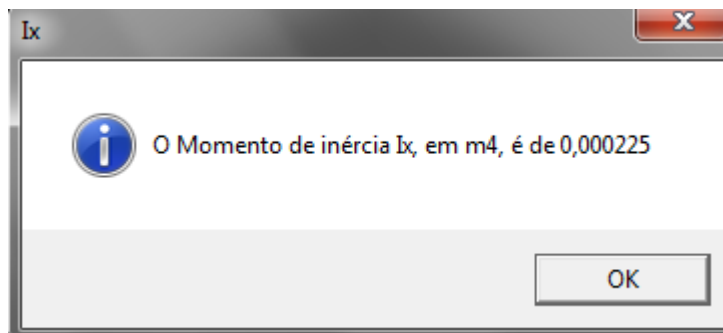


Figura 10 - Tela de exibição com o valor do momento de inércia em torno do eixo x

Fonte: Autoria Própria.

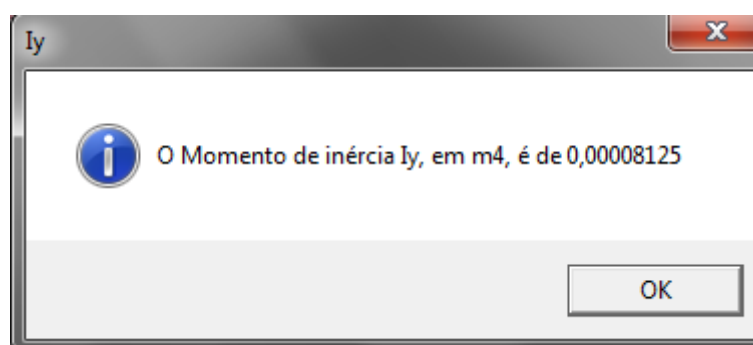


Figura 11 - Tela de exibição do valor do momento de inércia em torno do eixo y

Fonte: Autoria Própria.

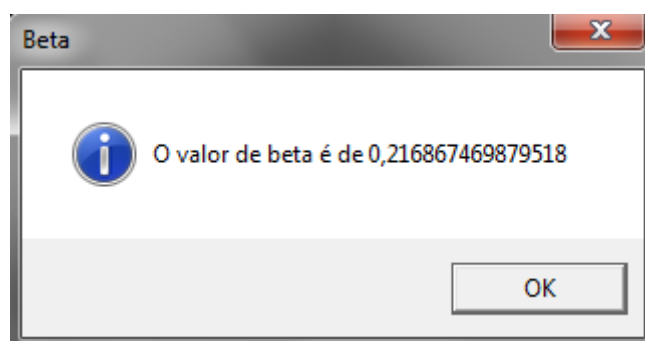


Figura 12 - Tela de exibição do valor do β

Fonte: Autoria Própria.

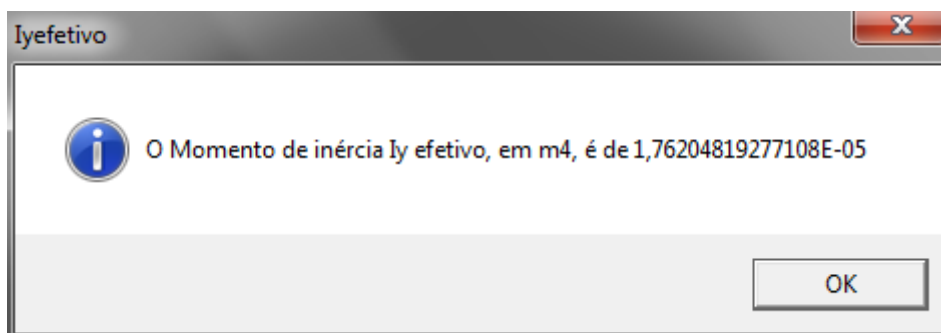


Figura 13 - Tela de exibição do valor do Iy efetivo

Fonte: Autoria Própria.

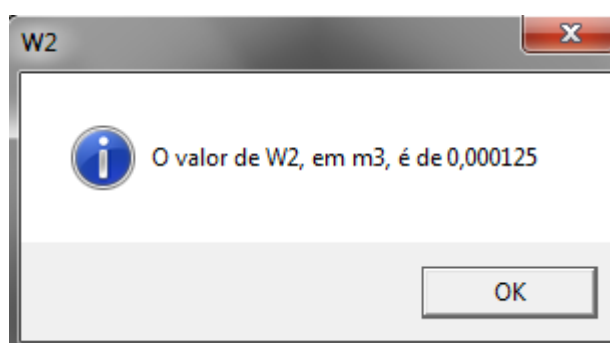


Figura 14 - Tela de exibição do valor de W2

Fonte: Autoria Própria.

Por fim, abrirá uma janela, figuras 15 e 16, informando se as condições de segurança do pilar de madeira de seção composta, conforme dados inseridos anteriormente, são verificados ou não.

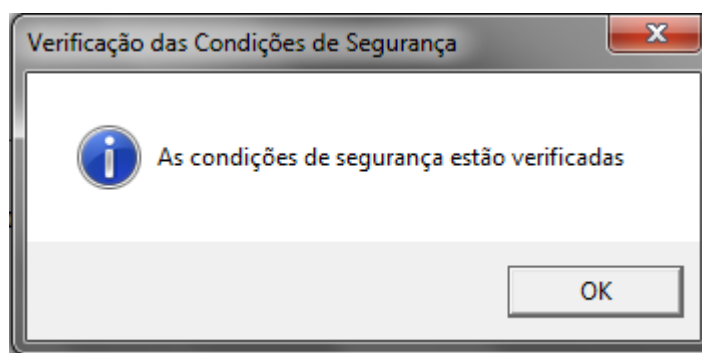


Figura 15 - Tela de exibição de verificação das condições de segurança

Fonte: Autoria Própria.

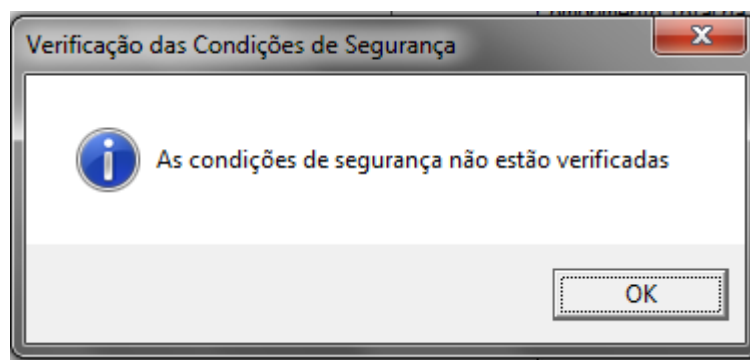


Figura 16 - Tela de exibição da não verificação das condições de segurança

Fonte: Autoria Própria.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho de pesquisa possibilitou a criação de planilhas eletrônicas que contemplam uma gama de entrada de dados para diferentes situações de geometria, de resistência e de carregamentos de pilares de madeira de seção descontínua, além da elaboração, no Microsoft Visual Basic, de uma interface dinâmica e simplificada do programa com o usuário.

A ferramenta computacional possibilitou a verificação da estabilidade e o atendimento as condições de segurança de acordo com as normas brasileira, auxiliando projetistas para que a madeira como material estrutural seja aproveitada de uma maneira mais adequada.

6 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros, podemos sugerir o dimensionamento de outros elementos estruturais em madeira ou outros elementos bem como um programa que verifique a carga máxima que pode ser aplicada a cada um dos elementos sugeridos.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Tereza.: **Notas de Aula – Construção de Edifícios 1: Estruturas de Madeira**. Disponível em: < http://www.geocities.ws/tereza_denyse/madeira.pdf> Acesso em: 07 set. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 7190** - "Projeto de Estruturas de Madeira". Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 7190** - "Projeto de Estruturas de Madeira". Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 8681** - "Ações e segurança nas estruturas". Rio de Janeiro, 2002.

BAUER, L. A. Falcão,; **Materiais de Construção** - Volume - 2. 5ª ed - Rio de Janeiro: Ltc, 2001.

BRAGHIERI, Nicola,; **Casas de Madeira** - 1ª ed - Espanha: Editorial Gustavo Gili, 2005.

CARLITO, Calil Junior; **Dimensionamento de Elemento Estruturais de Madeira**. 1ª ed. São Paulo: Manole, 2003.

MARGARIDO, Aluizio Fontana; **Fundamentos de Estruturas: Um programa para arquitetos e engenheiros que se iniciam no estudo das estruturas**. - 2ª ed. São Paulo: Zigate, 2003.

PETRUCCI, Eládio Geraldo Requião,; **Materiais de Construção**. 11ª ed - São Paulo: Globo, 1998.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de Aço**. 8 ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2010.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de Madeira**. São Paulo: Ltc, 2003.

SORIANO, Julio; **Estruturas Mistas em Concreto e em Madeira: análise de vigas e painéis e aplicações na construção civil**. Universidade Estadual de Campinas - Unicamp. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000231878&fd=y>> Acesso em: 21 ago. 2013.

SZÜCS, C. A. et al. **Estruturas de Madeira**. Disponível em: < <http://www.giem.ufsc.br/upload/20090317173248.pdf>>. Acesso em: 07 set. 2013.

ZENIDI, Geraldo José. **Madeira na Construção Civil**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. - IPT. Disponível em: <[http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Madeira%20na%20constru%E7 % E3o%20civil.pdf](http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Madeira%20na%20constru%E7%20E3o%20civil.pdf)> Acesso em: 17 ago. 2013.

APÊNDICE A

"Restrito"