

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS CAMPUS PALMAS

CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL

PEDRO HENRIQUE PINHEIRO DE SOUSA

DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO DE DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE
MADEIRA SEGUNDO A NORMA NBR 7190 - 1/2022

PALMAS

2023

PEDRO HENRIQUE PINHEIRO DE SOUSA

**APLICATIVO PARA FINS DE DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA
SEGUNDO A NORMA NBR 7190-1/2022**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal do Tocantins, Campus Palmas, como exigência parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador:

Prof. Dr. Adriano dos Guimarães de Carvalho

**PALMAS
2023**

S725d Sousa, Pedro Henrique Pinheiro de
DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO DE
DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA SEGUNDO
A NORMA NBR 7190-1:2022 / Pedro Henrique Pinheiro de Sousa. –
Palmas, TO, 2023.
57 p. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins, Campus Palmas, Palmas, TO, 2023.

Orientador: Dr. Adriano Dos Guimarães de Carvalho

1. Dimensionamento. 2. Estruturas. 3. NBR 7190-1:2022. I.
Carvalho, Adriano Dos Guimarães de. II. Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins
de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.
Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a).

PEDRO HENRIQUE PINHEIRO DE SOUSA

APLICATIVO PARA FINS DE DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA SEGUNDO A NORMA NBR 7190-1/2022

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal do Tocantins, Campus Palmas, como exigência parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador:
Prof. Dr. Adriano dos Guimarães de Carvalho

Aprovado em: 06 / 10 / 2023

BANCA AVALIADORA

Documento assinado digitalmente
 **ADRIANO DOS GUIMARAES DE CARVALHO**
Data: 16/10/2023 09:01:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Adriano dos Guimarães de Carvalho
Orientador
(IFTO)

Documento assinado digitalmente
 **GILSON MARAFIGA PEDROSO**
Data: 17/10/2023 14:55:09-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Gilson Marafiga Pedrosa
(IFTO)

Documento assinado digitalmente
 **THIAGO DIAS DE ARAUJO E SILVA**
Data: 16/10/2023 13:39:03-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Thiago Dias de Araújo e Silva
(IFTO)

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo o desenvolvimento de um aplicativo para o cálculo e dimensionamento de estruturas de madeiras tendo como embasamento técnico a norma NBR 7190-1:2022. Tendo como premissa uma pesquisa bibliográfica, foi possível apontar todos os aspectos a serem considerados durante o processo de dimensionamento de estrutura de madeiras, sendo possível mencionar, propriedades físicas, mecânicas, dentre outros. O aplicativo em questão foi desenvolvido utilizando a linguagem *Visual Basic*® aplicada à plataforma de planilhas digitais *Excel*® (identificador 10037FFEAC3A3192) e sua construção foi subdividida em duas partes (abas) diferentes, de forma que o usuário tenha uma melhor usabilidade e desempenho no uso do mesmo. Além disso, o trabalho em questão apresenta algumas aplicações práticas que são possíveis de serem desenvolvidas dentro do aplicativo. Por fim, trazer para o público ferramentas de fácil acesso que possibilitem a elaboração e conferência de projetos de dimensionamento de estruturas de madeiras, contribui para que o empirismo deixe de ser a técnica vigente nesta modalidade construtiva.

Palavras-chave: Estruturas de madeira. Aplicativo. Dimensionamento.

ABSTRACT

The present work aimed at the development of an application for the calculation and sizing of timber structures, with technical reference to the NBR 7190-1:2022 standard. Based on a literature review, it was possible to identify all the aspects to be considered during the timber structure sizing process, including physical and mechanical properties, among others. The application in question was developed using the Visual Basic® language applied to the Excel® digital spreadsheet platform (identifier 10037FFEAC3A3192), and its construction was divided into two different parts (tabs) to provide better usability and performance for the user. Furthermore, this work presents some practical applications that can be developed within the application. Finally, making easily accessible tools available to the public for the design and verification of timber structure sizing projects contributes to moving away from empiricism as the prevailing technique in this construction modality.

Keyword: *Wooden structures. Application. Sizing.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Interface de abertura do software.....	39
Figura 2 - Interface destinada aos cálculos de combinações	41
Figura 3 - Parte destinada ao tipo de variabilidade sem nenhuma seleção.....	41
Figura 4 - Parte destinada ao tipo de variabilidade com seleção realizada	41
Figura 5 - Botão de acionamento para a execução dos cálculos de combinação	42
Figura 6 - Página de tração, compressão e flexão com barra de rolagem na parte alta....	43
Figura 7 - Página de tração, compressão e flexão com barra de rolagem na parte média	44
Figura 8 - Página de tração, compressão e flexão com barra de rolagem na parte baixa.	44
Figura 9 - Combinação dos esforços	46
Figura 10 - Etapa de preenchimento de dados para cálculo de tração.....	46
Figura 11 - Etapa final do cálculo onde a planilha exibe se o valor atende ou não o quesito normativo.....	47
Figura 12 - Ilustração do exercício teste	48
Figura 13 - Cálculo de combinações executado pelo aplicativo	49
Figura 14 - Etapa de preenchimento de dados para o cálculo de compressão	50
Figura 15 - Etapa final onde o aplicativo exibe a condição normativa com o termo "conferência"	50
Figura 16 - Detalhamento da viga submetida à flexão simples reta	51
Figura 17 - Etapa de preenchimento de dados para o cálculo de flexão	52
Figura 18 - Aplicativo exibindo condição de segurança da norma após o cálculo	52
Fluxograma 1 - Etapas de desenvolvimento do aplicativo	37
Fluxograma 2 - Etapas de preenchimento sugerida pelo desenvolvedor	40
Fluxograma 3 - Etapas de preenchimento de informações para o cálculo de tração e compressão	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela de pequena variação	22
Tabela 2 - Tabela de grande variação	22
Tabela 3 - Coeficiente de fluência	22
Tabela 4 - Ações variáveis.....	22
Tabela 5 - Ações permanentes indiretas	23
Tabela 6 - Fator de combinação e de utilização	23
Tabela 7 - Classes de umidade da madeira	26
Tabela 8 - Classes de resistência de florestas nativas estabelecidos a partir de ensaios de peças sem defeitos	26
Tabela 9 - Classes de resistência de coníferas estabelecidos a partir de ensaios de peças estruturais	27
Tabela 10 - Classes de resistência de folhosas (dicotiledôneas) estabelecidos a partir de ensaios de peças estruturais	27
Tabela 11 - Coeficiente de modificação de acordo com as classes de carregamento	29
Tabela 12 - Valores adotados para o coeficiente de modificação 2.....	30
Tabela 13 - Valores do coeficiente K_e	34

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BS EN	Norma Britânica
ELU	Estado Limite Último
HDF	High Density Fiberboard
MDF	Medium Density Fiberboard
NBR	Norma Brasileira
NDS	Norma Norte Americana
VBA	Visual Basic

LISTA DE SÍMBOLOS

$E_{c0,m}$	Valor médio do módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras
f_{vk}	Resistência característica ao cisalhamento paralela às fibras
f_{mk}	Resistência característica à flexão paralela às fibras
f_{md}	Resistência de cálculo à flexão paralela às fibras
$\rho_{bas,m}$	Densidade básica da madeira
$\rho_{aparente}$	Densidade aparente da madeira
k_{mod}	Coefficiente de modificação
U_{amb}	Umidade relativa do ambiente
U_{eq}	Umidade de equilíbrio
f_{12}	Resistência a 12% de umidade
$U\%$	Umidade da peça
$f_{U\%}$	Resistência a U% de umidade
E_{12}	Rigidez a 12% de umidade
$E_{U\%}$	Rigidez a U% de umidade
t	Espessura das lâminas
r	Menor raio de curvatura das lâminas
L_o	Comprimento teórico de referência
i_{min}	Raio de giração mínimo da peça
γ	Coefficiente de esbeltez
f_{wk}	Resistência característica a tração ou compressão paralela
f_{c0d}	Resistência de projeto à compressão paralela às fibras
f_{c0k}	Resistência característica à compressão paralela às fibras

f_{td}	Resistência de projeto à tração paralela às fibras
f_{tk}	Resistência característica à tração paralela às fibras
γ_w	Coeficiente de ponderação para estados limites decorrentes de tensões de tração ou compressão paralela às fibras
γ_g	Coeficiente de ponderação para ações permanentes
γ_Q	Coeficiente de ponderação para ações variáveis
A	Área da seção transversal da peça
σ_{Nd}	Valor de cálculo da tensão de tração ou compressão devido à força normal
σ_{Md}	Valor de cálculo da tensão de tração ou compressão devido ao momento fletor
M_d	Momento fletor
W	Módulo de resistência
I	Momento de inércia
F_e	Carga crítica
N_d	Esforço axial na peça
$E_{c0,ef}$	Módulo de elasticidade paralelo às fibras
$E_{0,05}$	Módulo de elasticidade a 0º característico
k_{cx} e k_{cy}	Coeficientes de correção para compressão
$\lambda_{rel,x}$ e $\lambda_{rel,y}$	Índices de esbeltez relativa correspondentes à flexão em relação à x e y
λ_x e λ_y	Índices de esbeltez dos eixos x e y

Sumário

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 Problema de pesquisa	16
1.2 Justificativa	16
1.2.1 Teste de hipótese de desenvolvimento do trabalho.....	17
1.2.2 Contribuição acadêmica	17
2 OBJETIVOS	17
2.1 Objetivo Geral	17
2.2 Objetivo Específico.....	17
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
3.1 Linguagem de programação VBA	20
3.2 Ações nas estruturas de madeiras.....	20
3.2.1 Ações permanentes	20
3.2.2 Ações variável	20
3.2.3 Ações excepcionais	20
3.3 Tipos de carregamento	20
3.3.1 Carregamentos normais	21
3.3.2 Carregamentos especiais	21
3.3.3 Carregamentos excepcionais	21
3.3.4 Carregamento de construção	21
3.4 Combinações de ações	22
3.4.1 Combinações últimas normais.....	23
3.4.2 Combinações últimas especiais ou de construção	24
3.4.3 Combinações últimas excepcionais	25
3.5 Propriedades da madeira	25
3.5.1 Umidade	25
3.5.2 Classes de resistência	26
3.6 Valores de cálculo	28

3.6.1	Coeficiente de modificação	29
3.6.1.1	Coeficiente de modificação kmod1	29
3.6.1.2	Coeficiente de modificação kmod2	30
3.6.2	Coeficiente de minoração para Estados Limites Últimos	30
3.6.3	Estimativa da resistência característica e módulo de elasticidade ...	30
3.7	Estados Limites Últimos	31
3.7.1	Tração.....	31
3.7.1.1	Tração paralela às fibras	32
3.7.1.2	Tração perpendicular às fibras	32
3.7.2	Compressão	32
3.7.2.1	Esbeltez	33
3.7.2.2	Esbeltez relativa	34
3.7.2.3	Estabilidade de peças comprimidas.....	35
3.7.3	Flexão	35
3.7.3.1	Flexão simples reta.....	36
4	METODOLOGIA	36
4.1	Materiais	37
4.1.1	Excel	38
4.1.2	Visual Basic	38
4.1.3	Visual Basic aplicado ao Excel	38
4.2	Métodos	39
4.2.1	Interface inicial	39
4.2.2	Banco de dados	39
4.2.3	Página de combinações de esforços	40
4.2.4	Página de tração, compressão e flexão.....	42
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
5.1	Exercícios testes	45
5.1.1	Elemento tracionado	45
5.1.1.1	Etapas de cálculo.....	45

5.1.1.2	Resultados extraídos do <i>software</i>	45
5.1.2	Elemento comprimido	47
5.1.2.1	Etapas de cálculo:.....	48
5.1.2.2	Resultados extraídos do <i>software</i>	49
5.1.3	Elemento fletido	50
5.1.3.1	Etapas de cálculos manuais	51
5.1.3.2	Resultados extraídos do <i>software</i>	51
5.2	Limitações do <i>app</i>	53
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
7	REFERÊNCIAS.....	56

1. INTRODUÇÃO

A madeira é um material que é recorrente na vida humana. Desde os primórdios é empregada para diversas finalidades, e com o desenvolvimento de novas tecnologias, surgiram também novas oportunidades de uso para o mesmo na construção civil.

De forma geral, o que se observa na grande maioria das obras de Engenharia é a sua utilização principalmente para fôrmas e escoramentos. Todavia, é possível encontrar também elementos estruturais em madeira para vigas, pilares, treliças, elementos decorativos, pisos, forros, dentre outros.

A partir de uma análise empírica da forma como o material é manuseado nas obras de Engenharia, observou-se que em sua expressiva maioria o seu uso é feito de maneira quase que unicamente empírica. Isso corrobora para que o material seja empregado de maneira indevida, sendo ora superdimensionado ora subdimensionado. É de suma relevância apontar que, por mais que não seja comum o dimensionamento de pórticos de madeiras, estes elementos estruturais são extremamente recorrentes como solução para elaboração de estruturas de telhamento. Além disso, estes materiais apresentam bons resultados de desempenho quanto à compressão, tração, flexão, impacto e cisalhamento quando submetidos aos mais variados esforços.

Seguindo essa perspectiva, o mercado de uma forma geral, por uma questão de eficiência e segurança, urge por soluções práticas que possibilitem a fuga do empirismo e a proximidade com aquilo que seja exato, preciso, econômico e sobretudo seguro. Ferramentas que possibilitam a redução ou o fim do gargalo do processo de dimensionamento, considerando a norma vigente são poucas e custosas.

Elementos estruturais de madeira podem vir a ser uma excelente solução, haja visto que seu processo produtivo, desde que realizado de uma maneira que atenda os requisitos designados por lei (por exemplo vindo de fontes de reflorestamento), podem contribuir de forma bastante significativa para a redução do dano ecológico oriundo da indústria da construção civil. De acordo com dados do Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo (SindusCon-SP), em média, quando se investe R\$1 milhão de reais em obras, aproximadamente cerca de 250 toneladas de resíduos são geradas. Além disso, a construção civil no Brasil, carrega consigo a responsabilidade de algo em torno de 50% dos resíduos sólidos urbanos, dados extraídos do Ministério do Meio Ambiente.

Vale ressaltar que durante o processo produtivo de elementos estruturais de madeira gasta-se menos energia (comparado à produção do aço) e gera-se uma quantidade expressivamente menor de resíduos (comparado à construções de concreto

armado). Outrossim, a madeira fornece uma gama de possibilidade de reaproveitamento, conforme exposto pela Embrapa (2023), após estudos, ela afirma que os resíduos de madeira provenientes da construção civil podem ser utilizados como compostos orgânicos, adubos, substratos para plantas e combustível em diversos processos industriais. Para mais, segundo a Associação Brasileira de MDF (2023), também é possível o desenvolvimento de peças de MDF, HDF.

O uso da madeira ainda é muito estigmatizado pelo senso comum, uma vez que se acredita que o material seja pouco resistente a esforços, extremamente propenso a ataques biológicos, físicos e intempéries. Entretanto, tais argumentações podem ser facilmente contrapostas quando se avalia os avanços tecnológicos nas quais foram desenvolvidas as mais diversas soluções que visam mitigar as “fragilidades” retro-mencionadas.

O presente trabalho realizou o desenvolvimento de um aplicativo através da linguagem *Visual Basic*® aplicada ao *Excel*®. Assim, foi elaborado um banco de dados, planejamento da interface de navegação e elaboração estética inicial desta, codificação dos elementos dispostos na interface, desenvolvimento de algoritmo contendo as etapas de cálculo e aprimoramento estético do programa.

1.1 Problema de pesquisa

É possível facilitar e otimizar o processo de dimensionamento de estruturas de madeiras, com uma aplicação que automatize e agilize o processo de cálculo e verificação?

Mediante ao trecho retromencionado, o presente trabalho propôs elaborar uma ferramenta com linguagem *Visual Basic*® aplicada ao *Excel*® com a finalidade de realizar algumas etapas de dimensionamento de estruturas de madeira, sendo elas, combinações, tração, compressão e flexão conforme é estabelecido pela norma 7190-1:2022 Projetos de estruturas de madeira – Critérios de dimensionamento. Determinação de valores de cálculo e verificação de cumprimento com quesitos normativos, otimizando o tempo do projetista.

1.2 Justificativa

O desenvolvimento de um aplicativo *Visual Basic*® aplicada ao *Excel*® com enfoque em etapas de dimensionamento de estruturas de madeira tem por finalidade tornar o processo de construção com este tipo de estrutura menos empírico e mais técnico e que siga rigorosamente os quesitos propostos pela norma.

Com a adoção da ferramenta digital, é possível que se desenvolva o processo de automatização de diversas etapas de cálculos extensas e por vezes complexas, o que favorece o profissional que adotar a ferramenta, corroborando para maior agilidade e precisão no processo de dimensionamento.

Desta feita, o desenvolvimento da ferramenta pode conferir uma sequência de benefícios não somente para a engenharia civil, pois favorece otimização do tempo durante o processo produtivo na etapa de dimensionamento, bem como para a sociedade, uma vez que a ferramenta foi desenvolvida galgando-se na atualização normativa, portanto atende aos critérios vigentes no hodierno.

1.2.1 Teste de hipótese de desenvolvimento do trabalho

O presente trabalho analisou a hipótese de que a adoção do objeto do presente trabalho como ferramenta para auxiliar no processo de dimensionamento de estruturas de madeira, que automatizasse etapas de cálculo e realizasse verificações de validação das peças de acordo com os parâmetros das normas vigentes, contribuindo para a otimização de tempo no processo e evitando incidência de falhas humanas. Mediante o exposto, foi estabelecido as duas hipóteses para o desenvolvimento do trabalho:

- Hipótese nula (H_0): O aplicativo otimiza a produção durante o dimensionamento de estruturas de madeiras;
- Hipótese nula (H_1): O aplicativo não otimiza a produção durante o dimensionamento de estruturas de madeiras;

1.2.2 Contribuição acadêmica

A principal norma que rege as etapas e critérios de dimensionamento de estruturas de madeira, sofreu uma alteração recente, mudando alguns parâmetros e procedimentos. Para tanto, a elaboração de uma ferramenta de fácil manuseio, prática, de fácil instalação pode favorecer a disseminação das recentes mudanças ocorridas nos meios acadêmico e profissional.

Contribuição esta que caso o aplicativo receba frequentes atualização contribuirá para que os usuários estejam sempre seguindo os critérios correntes.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um software de dimensionamento de estruturas de madeira que seja capaz de calcular a partir dos critérios impostos pela versão atualizada da norma NBR 7190-1:2022, que seja simples porém útil, otimize o tempo e os resultados do usuário.

2.2 Objetivo Específico

Os objetivos específicos do presente trabalho foram:

1. Desenvolver um *Software* capaz de dimensionar peças submetidas à tração, compressão e flexão;

2. Desenvolver um *software* leve e de fácil manuseio;
3. Otimizar o tempo do usuário;
4. Otimizar os resultados quando comparado à cálculos manuais.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

A revisão foi realizada a partir de busca sistemática pelos assuntos: (i) norma NBR 7190/1997; (ii) dimensionamento de estruturas de madeira pela NBR 7190-1/2022; (iii) alterações propostas na NBR 7190-1/2022.

As publicações encontradas foram então avaliadas quanto ao seu conteúdo de forma a verificar a sua pertinência para o estudo, visando desta forma, subsidiar o processo criativo para a gênese do aplicativo (app) em planilha eletrônica (*Excel*® - identificador 10037FFEAC3A3192).

Os documentos selecionados foram aqueles que versavam sobre o tema retromencionado, considerando as seguintes restrições impostas: (i) últimos cinco anos; (ii) Engenharia Civil; (iii) Estruturas; (iv) Madeiras; (v) Artigos; (vi) Trabalhos de conclusão; (vii) Dissertações; (viii) Teses (xix) App para dimensionamento de estrutura de madeira.

Inicialmente, a fim de se compreender as mudanças propostas pela norma NBR 7190:1998 para a norma 7191-1:2022, desta feita, Menezes, 2022 explana de maneira objetiva todas as mudanças o que contribuiu de maneira significativa nesta etapa de revisão.

Outra publicação encontrada foi o trabalho de conclusão de curso, seguindo os regramentos da norma antiga (ABNT, 2017), intitulado “Elementos estruturais em madeira: desenvolvimento de programa computacional de dimensionamento” (Triches Junior, 2018), e por fim, um outro artigo “Software de apoio à aprendizagem para dimensionamento de pilares em madeira submetidos à compressão ou flexão” (Cofani, 2017).

Procurou-se também em fóruns de discussões, cursos virtuais e metabuscadores (Google e *Google Acadêmico*®), conteúdos relacionados à utilização de planilhas eletrônicas com uso de *Visual Basic*® e Macros, visando auxiliar o desenvolvimento de ferramentas de cálculo, seleção e outras que viabilizassem a construção *do app* de análise e dimensionamento de estruturas de madeira.

Os trabalhos de Triches Junior, (2018) e Cofani (2017), trazem abordagem similar ao eixo temático do presente trabalho, onde relacionam dimensionamento de estruturas de madeira com programação para o desenvolvimento de aplicativos de dimensionamento. De forma geral, o que se analisa como resultado das pesquisas realizadas nos diferentes mecanismos de buscas é que pouco se tem trabalhado e pesquisado sobre a construção de produtos para o desenvolvimento de aplicativos de estruturas de madeiras,

principalmente no que tange os quesitos normativos atualizados.

Além disso, ao se falar a respeito do quesito normativo, observando que diversas entidades normalizadoras de outros países e blocos econômicos, como por exemplo a BS EN 1995-1-1 na Inglaterra, Eurocode 5 vigente na União Européia, e NDS 94 *For Wood Constructions* nos Estados Unidos, já haviam realizado atualizações em seus respectivos regramentos no que tange a dimensionamento de estruturas de madeira a vários anos, o Comitê Brasileiro de Madeiras (ABNT/CB-31), composto por projetistas, fabricantes, produtores construtores e pesquisadores, encarregou-se de propor modificações na norma NBR 7190, (ABNT, 1997), visando reconsiderar a utilização alguns coeficientes, aperfeiçoar os métodos de dimensionamento, inserir novas categorias de classes de resistências, novos materiais, dentre outros.

Neste contexto, Menezes, 2022, traz em seu trabalho pontualmente as mudanças sofridas pela norma, além deste trabalho, também foi realizado um processo de consulta e comparação e após uma análise mais detalhada da NBR 7190 (ABNT, 2022) e leitura da publicação de Menezes, foi possível enumerar todas as modificações proposta e aprovadas pelo comitê responsável pela atualização:

- Extinção do k_{mod3} ;
- Detalhamento com diferentes tipos de madeiras na tabela do k_{mod1} ;
- Valores mais distribuídos para o k_{mod2} ;
- Novos valores de cálculo do módulo de deformação longitudinal e transversal;
- Coeficientes minoradores de resistência, onde no cálculo do estado limite último (ELU) de tração recomenda-se agora, o uso do valor de 1,4 e sugere o uso do valor de 1,8 apenas para verificações de estados-limites decorrentes de tensão de cisalhamento;
- O termo “dicotiledônea” foi substituído por “folhosas”;
- Maior subdivisão de classes de resistência;
- Na combinação com a ação variável principal, na mesma direção da gravitação, os esforços de cálculo deverão ser majorados. O mesmo ocorre com a ação variável principal quando de sucção (vento), cujos valores obtidos pelo código de 1997 são um pouco maiores.
- Para a verificação de flexão simples oblíqua, a nova especificação ABNT NBR 7190-1:2022 apresenta um dimensionamento mais conservador devido ao fator de correção k_M igual a 0,7, que difere do valor correspondente da especificação na versão 1997 que era de 0,5 conforme está explícito na equação a seguir:

$$\frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{wd}} + k_M \frac{\sigma_{My,d}}{f_{wd}} \leq 1$$

3.1 Linguagem de programação VBA

Segundo Windows®, 2022, o *Visual Basic*® (VBA) é uma linguagem de programação desenvolvida pela Microsoft que viabiliza a automação e customização de aplicativos do pacote Office e de outros produtos da marca.

A linguagem de programação *Visual Basic*® concede uma abordagem de fácil compreensão e bastante intuitiva, para o desenvolvimento de aplicativos Windows. A sintaxe simples, programação orientada a eventos e integração com a plataforma Windows corrobora para que esta seja uma linguagem excelente para quem busca o desenvolvimento de aplicativos com interfaces agradáveis e funcionais. Além disso, por ser uma linguagem difundida, a própria desenvolvedora da linguagem disponibiliza uma série de catálogos e manuais que facilitam o aprendizado da mesma

3.2 Ações nas estruturas de madeiras

Segundo a norma NBR 8681:2004 as ações são definidas como os motivos que provocam esforços ou deformações nas estruturas. Elas são subdivididas em ações diretas e indiretas, a primeira refere-se a esforços enquanto a segunda às deformações. Além dessa definição há a classificação quanto à frequência e variabilidade de intensidade.

3.2.1 Ações permanentes

Segundo a NBR 8681:2004, as ações permanentes são as que ocorrem com baixíssima ou nenhuma variação intensa e que acompanha a estrutura ao longo de sua vida, um exemplo prático desta ação seria o peso próprio da estrutura.

3.2.2 Ações variável

De acordo com a NBR 8681:2004, as ações variáveis são resultantes de variações significativas mediante a sua média ao longo da vida da edificação, um exemplo muito comum deste tipo de ação, é o vento.

3.2.3 Ações excepcionais

Para a NBR 8681:2004, as ações excepcionais apresentam duração extremamente curta e probabilidade muito baixa de ocorrência durante a vida da construção, entretanto, faz-se necessário a consideração para determinados tipos de estruturas. Pode citar tal tipo de ação, um desastre natural, por exemplo.

3.3 Tipos de carregamento

Ao longo da vida de um edifício, diferentes carregamentos podem ocorrer, sendo eles: normal, especial e excepcional. Externo a esses, tem também o carregamento de construção.

Os carregamentos dependem do seu tempo de duração, podendo ser transitórios ou de longa duração.

3.3.1 Carregamentos normais

Carregamentos normais, segundo a NBR 8681:2004, é decorrente do uso previsto da construção. O tempo deste carregamento pode ser igual ao período de referência da estrutura e obrigatoriamente é considerado durante a verificação da segurança, tanto em relação aos Estados Limites Últimos e Estados Limites de Serviço.

3.3.2 Carregamentos especiais

Para a NBR 8681:2004, os carregamentos especiais decorrem de ações variáveis de natureza ou intensidades especiais, sendo que seus efeitos apresentam intensidade superior aos efeitos oriundos das ações consideradas em carregamentos normais. Normalmente apresentam atuação transitória, tendo sua duração muito curta em relação ao período de referência de uma estrutura. Os carregamentos especiais são em geral, são levados em conta apenas na verificação de segurança no Estado Limite Último, sendo observado exigência do mesmo nos Estados Limites de Serviço.

3.3.3 Carregamentos excepcionais

De acordo com a NBR 8681:2004, os carregamentos excepcionais são provenientes de ações excepcionais e que podem ter efeitos desastrosos. Esse tipo de carregamento deve ser levado em conta apenas em determinados tipos de construção onde esse tipo de ação não seja descartada. Além disso, esses tipos de carregamentos apresentam ação transitória, com duração significativamente breve. Esse tipo de carregamento é considerado apenas na verificação de segurança em relação aos Estados Limites Últimos por meio da combinação última excepcional.

3.3.4 Carregamento de construção

Esse tipo de carregamento, conforme descrito na NBR 8681:2004, é considerado exclusivamente em estruturas que tenham risco de incidência de estados limites durante a fase de construção. Seu tempo de atuação é transitório e deve ser previsto particularmente de acordo com cada caso em questão. É de suma relevância avaliar todas as combinações de ações que forem necessárias para garantir a segurança em relação a todos os estados limites que podem gerar risco durante a fase de construção.

3.4 Combinações de ações

A análise estrutural desempenha um papel crucial na engenharia civil, permitindo a avaliação da capacidade de carga e o comportamento das estruturas sob diferentes condições de carregamento. Em muitos cenários de projeto e análise, as estruturas estão sujeitas a uma variedade de ações, tais como cargas permanentes, cargas acidentais, ventos, sismos e outras forças externas. O estudo das combinações de carregamentos torna-se, portanto, essencial para garantir a segurança, eficiência e confiabilidade das estruturas construídas.

Conforme observado por Murray (2007), "As combinações de carregamento são um componente fundamental da análise estrutural, pois refletem as condições reais às quais uma estrutura pode estar sujeita durante sua vida útil." Além disso, conforme discutido por Smith e Johnson (2015), as combinações de carregamento também desempenham um papel vital na determinação dos estados limites últimos e de serviço das estruturas, influenciando diretamente o dimensionamento adequado dos elementos estruturais.

As tabelas 1, 2, 3, 4, 5, 6 fornecem todos os parâmetros normativos necessários para o desenvolvimento do cálculo de combinações.

Tabela 1 - Tabela de pequena variação

Combinações	Para efeitos	
	Desfavoráveis	Favoráveis
Normais	1,3	1
Especiais	1,2	1
Excepcionais	1,1	1

Fonte: Adaptado da NBR 7190:2022

Tabela 2 - Tabela de grande variação

Combinações	Para efeitos	
	Desfavoráveis	Favoráveis
Normais	1,4	1
Especiais	1,3	1
Excepcionais	1,2	1

Fonte: Adaptado da NBR 7190:2022

Tabela 3 - Coeficiente de fluência

Classe de carregamento	Classe de umidade	
	(1) e (2)	(3) e (4)
Permanente ou longa duração	0,8	2
Média duração	0,3	1
Curta duração	0,1	0,5

Fonte: Adaptado da NBR 7190:2022

Tabela 4 - Ações variáveis

Combinações	Ações variáveis	Temperatura
-------------	-----------------	-------------

Normais	1,4	1,2
Especiais ou de construção	1,2	1
Excepcionais	1	0

Fonte: Adaptado da NBR 7190:2022

Tabela 5 - Ações permanentes indiretas

Combinações	Para efeitos	
	Desfavoráveis	Favoráveis
Normais	1,2	0
Especiais ou de construção	1,2	0
Excepcionais	0	0

Fonte: Adaptado da NBR 7190:2022

Tabela 6 - Fator de combinação e de utilização

Fator de combinação	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Variação de temperatura	0,6	0,5	0,3
Pressão din. Vento	0,5	0,2	0
Sem pesos fixos	0,4	0,3	0,2
Com pesos fixos	0,7	0,6	0,4
Bibliotecas, arquivos, oficinas, garagens	0,8	0,7	0,6
Pontes de pedestres	0,4	0,3	0,2
Pontes rodoviárias	0,6	0,4	0,2
Pontes ferroviárias	0,8	0,6	0,4

Fonte: Adaptado da NBR 7190:2022

Dessa forma, conclui-se que todas as etapas do fluxograma, referem-se a etapas de coletas de informações normativas necessárias para a execução do cálculo. É válido expor que, a última etapa, descrita como “carregamentos” direciona o usuário a informar os dados que são apuradas de acordo com o contexto cujo qual a estrutura de análise se submete, isso implica dizer que não se refere a valores normativos, pois cada situação terá um valor peculiar.

Salienta-se que a norma NBR 8681 (ABNT, 2003) que aborda sobre ações e segurança nas estruturas, traz diferentes equações para análise de ações, sendo elas apresentadas a seguir.

3.4.1 Combinações últimas normais

As combinações últimas normais referem-se a conjuntos específicos de cargas que são aplicadas em uma estrutura para avaliar seu comportamento sob as piores condições possíveis. Essas combinações têm o objetivo de verificar se a estrutura é capaz de suportar as situações extremas sem falhas catastróficas.

Nas normas de projeto estrutural, como as normas de dimensionamento de estruturas de concreto ou aço, as combinações últimas normais consideram uma variedade de fatores que podem influenciar o desempenho da estrutura, como cargas permanentes, cargas acidentais, cargas de vento, cargas de sismo e outras forças externas relevantes para o projeto específico.

O seu cálculo pode ser desenvolvido a partir da Equação 2 proposta pela NBR 8681:2004.

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} \cdot F_{Gi,k} + \gamma_Q \left[F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \Psi_{0j} \cdot F_{Qj,k} \right]$$

Onde:

γ_{Gi} : ações permanentes;

$F_{Gi,k}$: valor característico das ações permanentes;

γ_Q : ações variáveis;

$F_{Q1,k}$: valor da ação variável considerada;

$\Psi_{0j} \cdot F_{Qj,k}$: valor reduzido da combinação das demais ações.

3.4.2 Combinações últimas especiais ou de construção

Combinações últimas especiais referem-se a conjuntos específicos de carregamentos aplicados em uma estrutura para avaliar seu comportamento sob condições excepcionais e extremamente raras. Diferentemente das combinações últimas normais, que lidam com situações previsíveis de carregamento, as combinações últimas especiais consideram eventos improváveis, mas possíveis, que podem impactar a estrutura.

O seu cálculo pode ser desenvolvido a partir da Equação 3 proposta pela NBR 8681:2004.

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} \cdot F_{Gi,k} + \gamma_Q \left[F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \Psi_{0j,ef} \cdot F_{Qj,k} \right]$$

Onde:

γ_{Gi} : ações permanentes;

$F_{Gi,k}$: valor característico das ações permanentes;

γ_Q : ações variáveis;

$F_{Q1,k}$: valor da ação variável considerada;

$\Psi_{0j,ef}$ é o fator de combinação efetivo de cada uma das demais variáveis que podem agir concomitantemente com a ação principal $F_{Q1,k}$, durante a situação transitória;

O valor de $\Psi_{0j,ef}$ é equivalente ao valor de Ψ_{0j} atribuído nas combinações normais, exceto quando F_{Q1} apresentar tempo de duração curto, nessa situação $\Psi_{0j,ef}$ pode ser considerada como Ψ_{2j} .

3.4.3 Combinações últimas excepcionais

Combinações últimas excepcionais referem-se a conjuntos específicos de carregamentos aplicados em uma estrutura para avaliar seu comportamento em situações extremamente raras e extraordinárias. Ao contrário das combinações últimas normais e especiais, que tratam de condições mais previsíveis e eventos não tão corriqueiros, mas de certa forma previsíveis, as combinações últimas excepcionais abordam cenários altamente improváveis, mas que podem ter consequências significativas.

Essas combinações são desenvolvidas para considerar eventos altamente infrequentes, como desastres naturais extremos (tsunamis, meteoritos), acidentes industriais catastróficos ou outros incidentes únicos que podem ocorrer com uma probabilidade extremamente baixa. As combinações últimas excepcionais são aplicadas a estruturas críticas, como instalações nucleares, usinas de energia, barragens de grande porte e edifícios que abrigam equipamentos sensíveis.

O seu cálculo pode ser desenvolvido a partir da Equação 4 proposta pela NBR 8681:2004.

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} \cdot F_{Gi,k} + F_{Q,exc} + \gamma_Q \cdot \sum_{j=1}^n \Psi_{0j,ef} \cdot F_{Qj,k}$$

Onde:

$F_{Q,exc}$ corresponde ao valor da ação transitória excepcional.

γ_{Gi} : ações permanentes;

$F_{Gi,k}$: valor característico das ações permanentes;

γ_Q : ações variáveis;

$F_{Q1,k}$: valor da ação variável considerada;

$\Psi_{0j,ef}$ é o fator de combinação efetivo de cada uma das demais variáveis que podem agir concomitantemente com a ação principal $F_{Q1,k}$, durante a situação transitória;

3.5 Propriedades da madeira

3.5.1 Umidade

Segundo a NBR7190-1:2022 o propósito das categorias de umidade é adequar as características de resistência e rigidez da madeira com base nas condições do ambiente em que as estruturas estão expostas ao longo de sua vida útil, tais adequações são feitas seguindo os padrões expostos na Tabela 7.

Além disso, para Moreschi, 2005, manter um controle preciso do teor de umidade da madeira revela-se fundamental para garantir a sua aplicação apropriada, prevenindo a manifestação de imperfeições como empenamentos, arqueamentos e torções. Esses inconvenientes frequentemente surgem em produtos de madeira produzidos antes que a madeira atinja seu equilíbrio higroscópico em relação às condições do ambiente, incluindo temperatura e umidade relativa do ar, nas quais esses produtos serão posteriormente utilizados.

Tabela 7 - Classes de umidade da madeira

Classe de umidade	Umidade relativa do ambiente (U_{amb})	Umidade de equilíbrio da 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: Modificado NBR 7191-1:2022

3.5.2 Classes de resistência

Conforme é trazido pela NBR 7190-1:2022, as classes de resistência de madeira vêm como uma medida de padronização de propriedade, podendo fornecer embasamento para a escolha do material mais adequado para o contexto de projeto o qual a madeira se submeteria. A norma estabelece a subdivisão da classe entre 3 diferentes grupos, sendo eles: espécies de florestas nativas, coníferas e folhosas. Os parâmetros indicados pela NBR estão dispostos nas tabelas 8, 9 e 10.

Tabela 8 - Classes de resistência de florestas nativas estabelecidos a partir de ensaios de peças sem defeitos

Classes	f_{c0k} (MPa)	$f_{v0,k}$ (MPa)	$E_{c0,med}$ (MPa)	Densidade a 12%(kg/m ³)
D20	20	4	10000	500
D30	30	5	12000	625
D40	40	6	14500	750
D50	50	7	16500	850
D60	60	8	19500	1000

Fonte: Adaptado da NBR 7190/2022

Tabela 9 - Classes de resistência de coníferas estabelecidos a partir de ensaios de peças estruturais

	Simb.	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Propriedades de resistência MPa													
Flexão	$f_{b,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
Tração paralela	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
Tração perpendicular	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Compressão paralela	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29
Compressão perpendicular	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2
Cisalhamento	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Propriedades de rigidez (GPa)													
Módulo de elasticidade a 0° médio	$E_{0,m}$	7	8	9	9,5	10	11	12	12	13	14	15	16
Módulo de elasticidade a 0° característico	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10	11
Módulo de elasticidade a 90° médio	$E_{90,m}$	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
Módulo de elasticidade transversal médio	G_m	0,4	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0
Densidade (kg/m³)													
Densidade característica	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
Densidade média	ρ_m	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550

Fonte: Adaptado da NBR 7190/2022

Tabela 10 - Classes de resistência de folhosas (dicotiledôneas) estabelecidos a partir de ensaios de peças estruturais

	Simb.	D18	D24	D30	D35	D40	D50	D60	D70
--	-------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Propriedades de resistência MPa									
Flexão	$f_{b,k}$	18	24	30	35	40	50	60	70
Tração paralela	$f_{t,0,k}$	11	14	18	21	24	30	36	70
Tração perpendicular	$f_{t,90,k}$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Compressão paralela	$f_{c,0,k}$	18	21	23	25	26	29	32	34
Compressão perpendicular	$f_{c,90,k}$	7,5	7,8	8,0	8,1	8,3	9,3	11	13,5
Cisalhamento	$f_{v,k}$	3,4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,5	5,0
Propriedades de rigidez (GPa)									
Módulo de elasticidade a 0° médio	$E_{0,m}$	9,5	10	11	12	13	14	17	20
Módulo de elasticidade a 0° característico	$E_{0,05}$	8	8,5	9,2	10	11	12	14	16,8
Módulo de elasticidade a 90° médio	$E_{90,m}$	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	1,1	1,33
Módulo de elasticidade transversal médio	G_m	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1,1	1,25
Densidade (kg/m³)									
Densidade característica	ρ_k	475	485	530	540	560	620	700	900
Densidade média	ρ_m	570	580	640	650	660	750	840	1080

Fonte: Adaptado da NBR 7190/2022

3.6 Valores de cálculo

Segundo a norma NBR 7190-1:2022 o valor de cálculo da propriedade da madeira é extraído a partir do valor característico x_k a partir da equação:

$$x_d = k_{mod} \cdot \frac{x_k}{\gamma_w}$$

Sendo:

γ_w é o coeficiente de monitoração das propriedades da madeira

k_{mod} é o coeficiente de modificação que abrange a influência não abordadas pelo coeficiente de minoração

3.6.1 Coeficiente de modificação

Os coeficientes de modificação k_{mod} influenciam as características das propriedades de resistência da madeira, levando em consideração tanto a classe de carregamento da estrutura quanto a classe de umidade adotada para o projeto. O coeficiente de modificação é expresso por:

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

3.6.1.1 Coeficiente de modificação k_{mod1}

O coeficiente de modificação 1 aborda sobre a classe de carregamento e o tipo de material adotado, conforme está explícito na tabela 11.

Tabela 11 - Coeficiente de modificação de acordo com as classes de carregamento

Classes de carregamento	Ação variável principal da combinação		Tipos de madeira	
	Duração acumulada	Ordem de grandeza da duração acumulada da ação	Madeira serrada Madeira roliça MLC MLCC LVL	Madeira recomposta
Permanente	Permanente	Mais de dez anos	0,60	0,30
Longa duração	Longa duração	Seis meses a dez anos	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

Fonte: Adaptado NBR 7190-1:2022

Sendo que MLC (Madeira Lamelada Colada), MLCC (Madeira Lamelada Colada Cruzada) (MLCC), LVL (Madeira Laminada Colada).

3.6.1.2 Coeficiente de modificação k_{mod2}

O coeficiente de modificação 2 traz a respeito dos coeficientes adotados para a partir da união entre classe de umidade e tipo de material empregado, conforme está indicado na tabela 12.

Tabela 12 - Valores adotados para o coeficiente de modificação 2

Classes de umidade	Madeira serrada	Madeira recomposta
	Madeira roliça	
	Madeira lamelada colada (MLC)	
	Madeira lamelada colada cruzada (MLCC)	
	Madeira laminada colada (LVL)	
(1)	1,00	1,00
(2)	0,90	0,95
(3)	0,80	0,93
(4)	0,70*	0,90
*Não é permitido a adoção de MLCC para classe de umidade 4		

Fonte: Adaptado da NBR 7190-1:2022

3.6.2 Coeficiente de minoração para Estados Limites Últimos

Segundo a NBR 7190-1:2022 o coeficiente de minoração γ_w é esboçado para duas situações, para tensões normais e para cisalhamento, sendo que na primeira apresenta valor $\gamma_w = 1,4$ enquanto na segunda $\gamma_w = 1,8$.

3.6.3 Estimativa da resistência característica e módulo de elasticidade

De acordo com a NBR 7190-1:2022 Em situações de espécies que obtiveram resultados médios de resistências e de módulos de elasticidade na compressão paralela às fibras equivalentes a diferentes teores de umidade, adota-se como referência a resistência e módulo de elasticidade a 12% de umidade.

Ainda perante a norma, em situações onde a umidade está fora do valor de referência de 12% de umidade, estando dentre o intervalo de 10% a 25% de umidade, adota-se as equações expostas a seguir para que sejam feitas as correções do valor da resistência, atentando-se para a variação na resistência de 18% e 28% para solicitações de compressão paralela às fibras.

$$f_{12} = f_u \cdot \left[1 + \frac{3(U - 12)}{100} \right]$$

$$E_{12} = E_u \cdot \left[1 + \frac{2(U - 12)}{100} \right]$$

Todos os valores adotados para o módulo de Elasticidade paralela às fibras (E_0) é

definido em ensaios de flexão e apresenta resultados tabelados, como é exposto nas tabelas 9 e 10. No caso de madeiras de florestas nativas a norma recomenda a adoção do valor de 70% do valor característico do módulo de elasticidade, conforma exposto na equação a seguir.

$$E_{0,05} = 0,7 \cdot E_{c0,med}$$

Para a avaliação dos estados limites últimos, quanto a análise de estabilidade lateral de vigas, faz-se necessário considerar o valor efetivo para o módulo de elasticidade (E_{ef}), tendo sua metodologia de cálculo exposta a seguir:

$$E_{0,ef} = K_{mod1} \cdot K_{mod2} \cdot E_{0,med}$$

Entretanto, para a verificação dos estados limites de serviço, leva-se em conta o valor médio do módulo de elasticidade ($E_{0,med}$). Em caso de demanda, em situações onde é solicitado o módulo de elasticidade transversal é definido a partir da expressão esboçada a seguir:

$$G_{med} = \frac{E_{0,med}}{16}$$

3.7 Estados Limites Últimos

Segundo a norma NBR 8681:2004, os estados limites últimos é a condição na qual, pela sua simples ocorrência decretam a interdição no todo ou em parte do uso da edificação. As condições mais comumente adotadas na caracterização do ELU (Estado Limite Último) são, perda de equilíbrio global ou parcial, ruptura ou deformação plástica excessiva dos materiais, transformação da estrutura, instabilidade por deformação.

3.7.1 Tração

A tração é uma força que atua em determinado corpo puxando-o em direções opostas, esticando-o de forma a “alongar” o corpo. Segundo Hibeller, 2017, a tração é uma força axial que quando aplicada em um corpo, tenta esticar as partículas que compõem o mesmo de forma a aumentar sua dimensão axial. A tração segundo a norma NBR 7190-1:2022 pode ser dimensionada seguindo o critério imposto pela equação a seguir, onde os valores de $f_{c0,d}$ pode ser obtido de diferentes formas de acordo com o tipo de tração que está sendo aplicado ao corpo em análise:

$$\sigma N_{c,d} = \frac{N_{c,d}}{A} \leq f_{c0,d}$$

Onde:

$\sigma N_{c,d}$ é o valor de cálculo da tensão de compressão normal;

$N_{c,d}$ é o valor de cálculo da força normal;

A área líquida da seção transversal;

$f_{c0,d}$ é o valor de cálculo da resistência à tração da peça.

3.7.1.1 Tração paralela às fibras

Conforme é trazido pela norma NBR 7190-1:2022, os valores característicos da resistência à tração paralela às fibras são expostos através de duas tabelas, sendo os valores obtidos a partir de ensaios realizados pelos elaboradores da norma.

A tabela 7, traz a classe de resistência para espécies nativas isenta de defeitos, enquanto a tabela 8 e 9 aborda a respeito de peças estruturais de madeiras coníferas e folhosas respectivamente.

Segundo a norma NBR 7190-1:2022, valor da tração paralela às fibras é numericamente igual ao valor da compressão, implica que, caso o material utilizado não esteja referenciado nas tabelas fornecidas pela norma, o valor da resistência tração paralela às fibras pode ser obtido a partir da equação a seguir:

$$f_{t0,d} = f_{c0,d}$$

3.7.1.2 Tração perpendicular às fibras

Segundo a norma NBR 7190-1:2022, exige que o valor mínimo para a resistência perpendicular de 6% do valor da tração paralela às fibras, matematicamente expressa por:

$$f_{t90,d} = 0,06 \cdot f_{t0,d}$$

A norma ainda pondera que a segurança de peças estruturais de madeira, quando avaliadas para os Estados Limites Últimos, não podem depender diretamente da tração perpendicular às fibras.

3.7.2 Compressão

A compressão segundo Beer, 2016, é um esforço de tensão que age sob o elemento de forma a reduzir suas dimensões axiais, provocando a aproximação das partículas que compõem o elemento. De acordo com a NBR 7190-1: 2022, seu valor pode ser obtido a partir da equação a seguir:

$$\sigma N_{c,d} = \frac{N_{c,d}}{A} \leq f_{c0,d}$$

Onde:

$\sigma N_{c,d}$ sendo o valor de cálculo da tensão de compressão normal à seção transversal

$N_{c,d}$ sendo o valor de cálculo da força normal de compressão

A sendo a área bruta da seção

$f_{c0,d}$ sendo o valor de cálculo da resistência à compressão paralela às fibras

3.7.2.1 Esbeltez

A esbeltez de acordo com Hibbeler, 2017, é uma forma de mensurar a flexibilidade de uma peça, além disso compreender se a peça é comprida, intermediária ou curta. Isso porque o índice de esbeltez em sua essência nada mais é do que a relação do comprimento do elemento sem apoio cujo as extremidades estão presas pelo raio de giração do elemento.

De acordo com a NBR 7190-1:2022, a esbeltez da peça é um requisito imprescindível para o dimensionamento. A norma aborda a definição matemática expressa pela equação seguinte:

$$\lambda = \frac{L_0}{\sqrt{I/A}}$$

Onde:

L_0 sendo o comprimento de flambagem

I sendo o momento de inércia do sentido de análise

A sendo a área da seção transversal

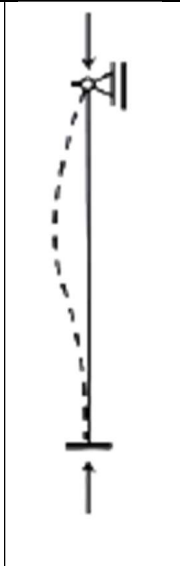
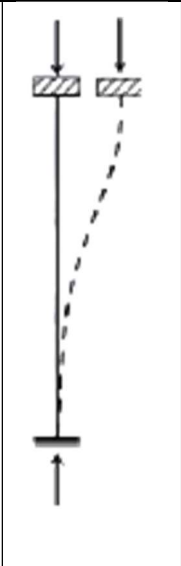
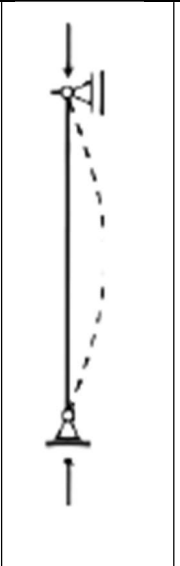
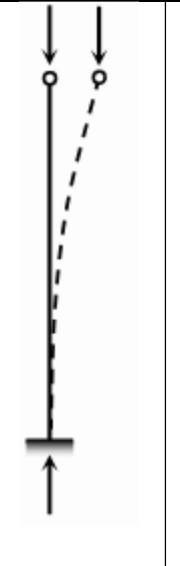
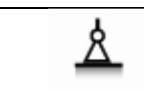
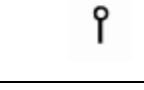
Destaca-se o fato de que a norma traz a equação proposta por Hibbeler de forma decomposta, uma vez que o raio de giração é a raiz quadrada da razão do índice de esbeltez pela área do elemento ($r = \sqrt{I/A}$).

A norma ainda traz as condições para determinação do valor do comprimento de flambagem, uma vez que este depende das condições de vinculação das extremidades e é definido pela equação abaixo:

$$L_0 = K_E \cdot L$$

Sendo que K_E tem seus valores expostos na Tabela 13:

Tabela 13 - Valores do coeficiente K_E

Modos de flambagem						
Valores de K_E	0,65	0,80	1,20	1,00	2,10	2,40
Código das condições de extremidade		Rotação e translação lateral impedidas, translação vertical				
		Rotação e translação vertical livres, translação lateral impedidas				
		Rotação e translação vertical livres, translação lateral impedidas				
		Rotação impedida e translações livres				
		Rotação e translações livres				

Fonte: Adaptado da NBR 7190-1: 2022

A norma esclarece ainda que para peças submetidas à compressão axial ou flexo compressão o índice de esbeltez não deve ultrapassar o valor de 140.

3.7.2.2 Esbeltez relativa

A esbeltez relativa, a partir da interpretação da equação fornecida pela norma NBR 7190-1:2022, é a esbeltez calculada a partir de algum eixo de análise, ora x, ora y, conforme é exposto pelas equações dispostas a seguir:

Em x:

$$\lambda_{rel,x} = \frac{\lambda_x}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c0,k}}{E_{0,05}}}$$

Em y:

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c0,k}}{E_{0,05}}}$$

3.7.2.3 Estabilidade de peças comprimidas

Para a Norma NBR 7190-1:2022 é definido que é necessário a verificação de estabilidade quando os índices de esbeltez forem superiores a 0,3, isto é, $\lambda_{rel,x} > 0,3$ e $\lambda_{rel,y} > 0,3$. Caso seja necessário a verificação é sugerido que sejam verificados mediante as equações abaixo:

$$\frac{\sigma_{Nc,d}}{k_{cx} \cdot f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{m,d}} + k_M \cdot \frac{\sigma_{My,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{Nc,d}}{k_{cy} \cdot f_{c0,d}} + k_M \cdot \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

Onde:

σ_M é a tensão normal de flexão oriunda do momento fletor de primeira ordem em consequência de forças laterais.

k_M é o coeficiente de correção, que pode ter o valor de 0,7 em seção retangular e 1,0 para seções não retangulares.

Os coeficientes k_{cx} e k_{cy} são calculados a partir das seguintes equações:

$$k_{cx} = \frac{1}{k_x + \sqrt{(k_x)^2 - (\lambda_{rel,x})^2}}$$

$$k_{cy} = \frac{1}{k_y + \sqrt{(k_y)^2 - (\lambda_{rel,y})^2}}$$

Sendo que:

$$k_x = 0,5 \cdot [1 + \beta_C (\lambda_{rel,x} - 0,3) + (\lambda_{rel,x})^2]$$

e

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_C (\lambda_{rel,y} - 0,3) + (\lambda_{rel,y})^2]$$

Onde o coeficiente β_C tem seu valor equivalente a 0,2 para madeira maciça serrada e peças roliças e 0,1 para madeira lamelada e madeira laminada.

3.7.3 Flexão

Segundo Hibbeler (2017), a flexão nada mais é do que uma análise do comportamento de elementos estruturais quando submetidos à cargas que induzem o elemento à curvatura.

3.7.3.1 Flexão simples reta

No caso enfaticamente da situação de dimensionamento, a norma NBR 7190-1:2022 traz inicialmente que o vão teórico a ser adotado é correspondente ao menor valor dentre a distância entre eixos dos apoios e vão livre acrescido da altura da seção transversal da peça no meio do vão, não se considerando acréscimo maior que 10 cm.

Em situação de peças submetidas a momento fletor no qual o plano de atuação obtenha um eixo central de inércia da seção transversal resistente, a equação indicada abaixo deve ser respeitada:

$$\frac{\sigma_{M,d}}{f_{m,d}} = \frac{\frac{M_d}{W}}{f_{m,d}} \leq 1$$

Sendo:

$\sigma_{M,d}$ valor máximo de cálculo da tensão atuante de flexão;

$f_{m,d}$ valor de cálculo da resistência à flexão;

M_d valor de cálculo do momento fletor;

W módulo de resistência da seção transversal

Ainda de acordo com a norma, é necessário que se faça as etapas de verificação da condição de estabilidade da estrutura. Além disso, em caso de peças com fibras com ângulos superiores a 6 graus, é necessário que se execute o cálculo de acordo com a fórmula abaixo:

$$f_{\alpha} = \frac{f_0 \cdot f_{90}}{f_0 \cdot \sin^2 \alpha + f_{90} \cdot \cos^2 \alpha}$$

4 METODOLOGIA

A metodologia adotada para o desenvolvimento do objeto do presente trabalho foi de caráter qualitativo quanto à sua abordagem, com natureza de pesquisa aplicada, objetivo descritivo e procedimento documental (GERHARDT e SILVEIRA, 2009).

O fluxograma 1 sintetiza de maneira geral as etapas de desenvolvimento do *software*.

Fluxograma 1 - Etapas de desenvolvimento do aplicativo



Fonte: Autor, 2023

Foram adotados 2 livros como referenciais de metodologias para o cálculo de dimensionamento de estruturas de madeiras: “Estruturas de madeira: Dimensionamento segundo a norma brasileira NBR 7190/97 e critérios das normas norte-americana NDS e européia EUROCODE 5” (Pfeil, 2013) e “Estrutura de madeira: projetos, dimensionamento e exemplos de cálculos” (Dias, 2019).

Considerando o novo arcabouço regulamentar imposto pela nova norma, iniciou-se o desenvolvimento de algoritmos computacionais que pudessem auxiliar na construção do app. Os algoritmos servem, de forma sintética, para fornecer todos o “passo a passo” de como o programa deve funcionar, ou seja, se trata de uma descrição minuciosa, na linguagem em questão, de como deverá ser realizada cada etapa para que a plataforma funcione com êxito.

4.1 Materiais

No desenvolvimento do trabalho foram utilizados os seguintes materiais e ferramentas:

- Excel® - identificador 10037FFEAC3A3192
- Visual Basic®

4.1.1 Excel

O Microsoft Excel é uma poderosa aplicação de planilha eletrônica desenvolvida pela Microsoft Corporation. Amplamente utilizado em ambientes de trabalho, educação e para fins pessoais, o Excel é uma ferramenta versátil que oferece funcionalidades para a criação, organização e análise de dados numéricos e informações diversas. Este software é uma parte integral das ferramentas de produtividade modernas e é valorizado por sua capacidade de lidar com uma variedade de tarefas, desde simples cálculos matemáticos até análises de dados complexas. (Frye, 2019)

4.1.2 Visual Basic

Visual Basic (VB) é uma linguagem de programação de baixa complexidade e um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) desenvolvido pela Microsoft. Foi introduzido pela primeira vez em 1991 e desde então evoluiu para várias versões, sendo a mais recente chamada Visual Basic .NET. O VBA é amplamente utilizado para desenvolver aplicativos de desktop, aplicativos web, automação de tarefas e integração com outras tecnologias da Microsoft. A simplicidade e a facilidade de uso do VB o tornam uma escolha popular entre desenvolvedores, especialmente para aqueles que estão começando a programar.

4.1.3 Visual Basic aplicado ao Excel

A plataforma em questão, *Excel*® juntamente com a linguagem *Visual Basic*® funciona de forma cooperativa. Tal cooperação se dá, uma vez que o primeiro possibilita a organização de todas as informações básicas sejam armazenadas em tabelas e em diversas abas, possibilitando a elaboração de um banco de dados. Já o segundo, proporciona através do desenvolvimento de algoritmos, que todos os dados disponíveis no banco de dados sejam manipulados e usados da forma com que o usuário desejar. No caso do presente trabalho, os dados foram manipulados para proporcionar o desenvolvimento de uma ferramenta de cálculo de estrutura de madeiras. O desenvolvimento da plataforma a partir da linguagem galgou-se em estruturas básicas de lógica de programação como “*if*”, “*e/se*”, declaração de variáveis e estruturas de cálculo conforme é previsto pela norma. Além disso, dentro da parte de elementos nativos do VBA utilizou-se elementos como caixas de seleção, caixas de textos, botões de opção, caixa de listagem, barra de rolagem e botão de comando, onde todos esses elementos foram referenciados recebendo seus respectivos nomes, foram atrelados ao banco de dados estabelecidos em planilhas no excel e posteriormente utilizados para o desenvolvimento das etapas de cálculo, servindo como

ferramenta para obtenção dos valores dos coeficientes previstos pelas normas NBR 8681 e 7190-1:2022.

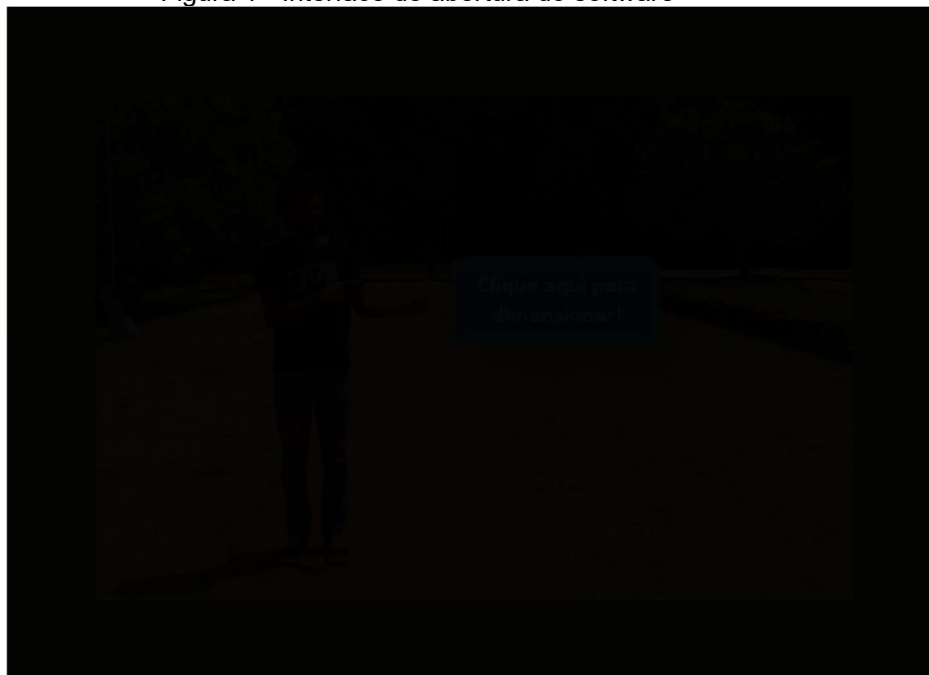
4.2 Métodos

Para cada etapa necessária ao dimensionamento foi construído um fluxograma próprio de forma a orientar nas decisões de implementação das ferramentas (*Excel*® e Macros) e a linguagem de programação utilizada (*Visual Basic*®).

4.2.1 Interface inicial

O intuito da interface inicial é ser descontraída e extremamente intuitiva, dispondo apenas de um botão para a inicialização da parte de cálculo propriamente dita, bem como pode ser observado na figura 1 a seguir:

Figura 1 - Interface de abertura do software



Fonte: Autor, 2023

A parte em questão, apresenta apenas uma etapa de codificação, que é o botão de ação para que se abra a parte cálculo do software, este botão está evidentemente destacado em azul na aba inicial do programa.

4.2.2 Banco de dados

Ademais, toda a parte de banco de dados com informações e dados normativos foram construídos em planilhas eletrônicas dentro do mesmo arquivo, dispostas em 12 abas diferentes devidamente identificadas.

4.2.3 Página de combinações de esforços

O desenvolvimento da aba, baseou-se em exercícios resolvidos encontrados em fóruns, livros, e publicações, isso porque buscou-se elaborar a interface de forma a contribuir com a experiência do usuário. O *software* não exige que o usuário siga necessariamente uma ordem, entretanto, os campos estão dispostos de maneira a seguir o caminho mais habitual para parte de coleta de informações. O fluxograma 2 explica de que maneira foi pensando que seria mais proveitoso para a interface.

Fluxograma 2 - Etapas de preenchimento sugerida pelo desenvolvedor



Fonte: Autor, 2023

O cálculo da combinação subdividiu-se em 3 combinações diferentes, 1ª combinação, 2ª combinação e 3ª combinação. Ademais, como mostrado na Figura 2, é possível compreender de maneira visual inicialmente como as informações supracitadas estão dispostas dentro da interface do programa.

Figura 2 - Interface destinada aos cálculos de combinações

Fonte: Autor, 2023

É de suma relevância pontuar que a caixa de seleção determinar a tipologia dos efeitos γ_g só será fornecida após optar por alguma variabilidade, sendo ela ou pequena ou Grande, como é exposto nas Figuras 3 e 4, que compara a mesma parte da interface com e sem o preenchimento.

Figura 3 - Parte destinada ao tipo de variabilidade sem nenhuma seleção

Fonte: Autor, 2023

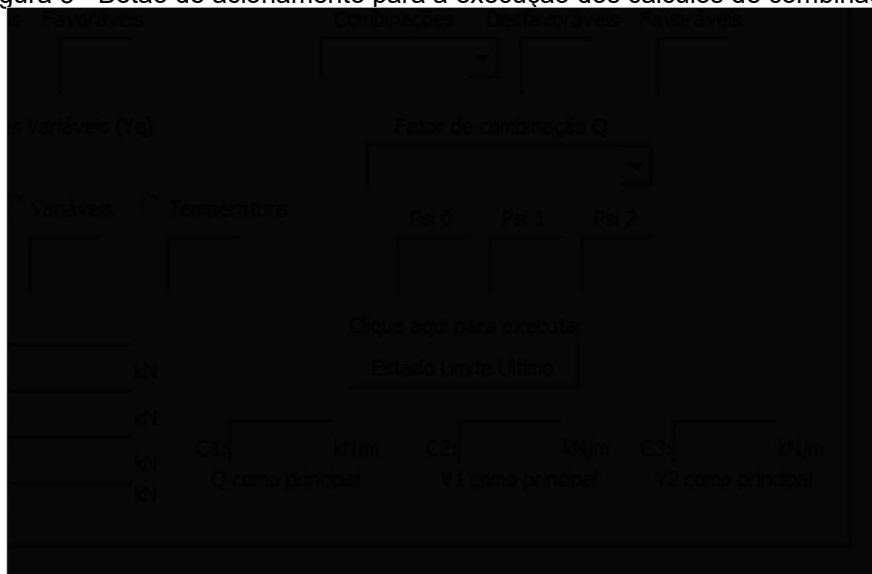
Figura 4 - Parte destinada ao tipo de variabilidade com seleção realizada

Fonte: Autor, 2023

Além de todas as informações dispostas acima, elaborou-se um botão de

acionamento, exposto na figura 5, para a efetivação do cálculo, ou seja, coleta dos valores e substituição nas fórmulas de combinações.

Figura 5 - Botão de acionamento para a execução dos cálculos de combinação



Fonte: Autor, 2023

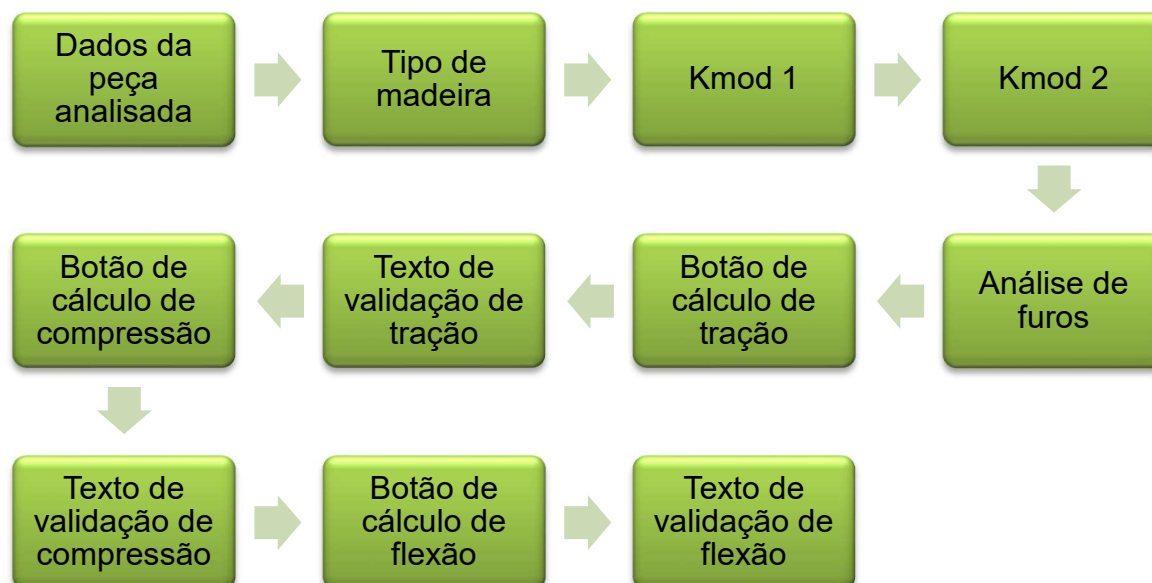
É necessário o preenchimento de todas as informações que estão dispostas no display exibido, deixando apenas os campos identificados como C1, C2 e C3 para a exibição das respostas. Atentando-se para o fato de que os campos “Q”, V1” e “V2” não exigem seus preenchimentos, pois nem sempre tais valores são adotados.

4.2.4 Página de tração, compressão e flexão

A página de tração, compressão e flexão inicia com o fornecimento de informações a respeito das peças que estão sob análise, sendo que o carregamento pode ser feito de duas formas, a primeira selecionando a maior carga calculada na aba de combinações ou com o projetista fornecendo a carga de solicitação.

O fluxograma 3 exposto a seguir apresenta as etapas que foram pensadas para as etapas de abastecimento de dados para a execução do cálculo:

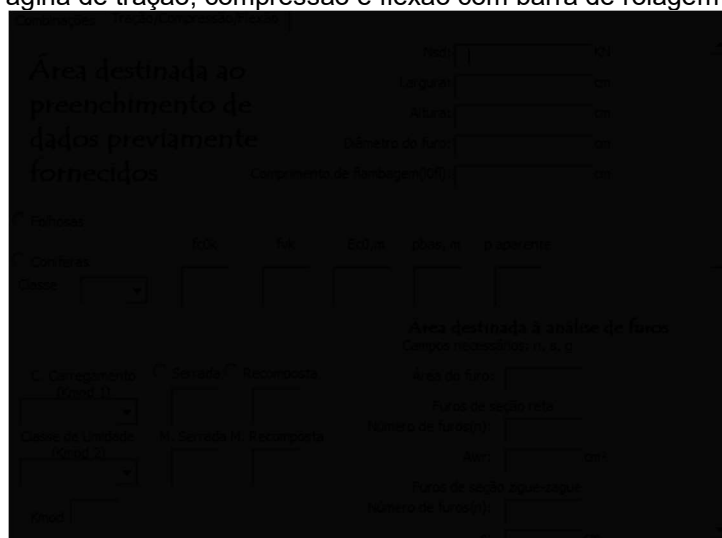
Fluxograma 3 - Etapas de preenchimento de informações para o cálculo de tração e compressão



Fonte: Autor, 2023

Para que fosse possível caber todas as etapas foi desenvolvido uma barra de rolagem, que viabiliza o encaixe dos campos sem que seja necessário ferir a estética do software. As figuras 6, 7, 8 a seguir demonstram como as informações ficaram dispostas:

Figura 6 - Página de tração, compressão e flexão com barra de rolagem na parte alta



Fonte: Autor, 2023

Figura 7 - Página de tração, compressão e flexão com barra de rolagem na parte média

Fonte: Autor, 2023

Figura 8 - Página de tração, compressão e flexão com barra de rolagem na parte baixa

Fonte: Autor, 2023

As setas em destaque, indicam os botões que coletam todos os dados fornecidos pelo projetista ou aluno e executa os cálculos, fornecendo os resultados nos campos que se encontram vazios na Figura 8.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A fim de se testar a confiabilidade do aplicativo, foi realizado um teste onde desenvolveu-se um exercício de maneira manual e o mesmo exercício utilizando a ferramenta do presente trabalho, assim podendo atestar e assegurar com os resultados fornecidos pela *software*.

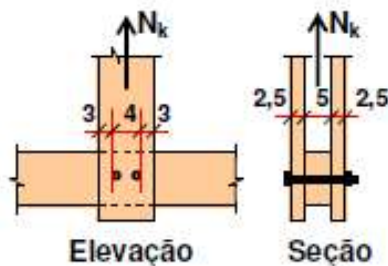
5.1 Exercícios testes

5.1.1 Elemento tracionado

Verificar a condição de segurança da barra tracionada de uma tesoura de madeira indicada na figura.

Dados:

- Conífera pertencente à classe de resistência C-30.
- Parafusos $\varphi = 3/8"$, com furo prévio de 10 mm de diâmetro.
- Dimensões indicadas em centímetros.
- Critério da NBR-719-1/2022.
- Esforços atuantes : $N_k = N_{Gk} + N_{Qk}$.
- $N_{Gk} = 3 \text{ kN}$ (permanente), e $N_{Qk} = 8 \text{ kN}$ (sobrecarga).
- Madeira serrada.
- Classe de carregamento de longa duração.
- Classe de umidade 1.



5.1.1.1 Etapas de cálculo

$$f_{c0,d} = \frac{30,7}{1,4} = 1,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$T_d = 1,4 * (3 + 8) = 15,4 \text{ kN}$$

$$A_{liq} = 2 * \{2,5 * [10 - (2 * 1,0)]\} = 40 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{t0,d} = \frac{15,4}{40} = \frac{0,38 \text{ kN}}{\text{cm}^2}$$

$$0,38 \text{ kN/cm}^2 < 1,5 \text{ kN/cm}^2$$

5.1.1.2 Resultados extraídos do *software*

Ademais nas figuras 9, 10 e 11 está exposto todo o preenchimento de informações necessário para a execução dos cálculos do item 5.1.2.1..

Figura 9 - Combinação dos esforços

Combinações **Tração/Compressão/Flexão**

γ_G
☒ Pequena Variabilidade
☐ Grande Variabilidade

Combinações
 Para Efeitos: **Normais**
 Desfavoráveis: **1,3** Favoráveis: **1**

Coeficiente de fluência (φ_{ti} 0):
 Classe de carregamento: ☒ (1) e (2) ☐ (3) e (4)
 Permanente c: **0,8** **2**

Permanentes indiretas
 Para Efeitos: **Normais**
 Desfavoráveis: **1,2** Favoráveis: **0**

Ações variáveis (γ_Q)
 Combinações: **Normais** ☒ variáveis ☐ Temperatura
1,4 **1,2**

Fator de combinação Q
 Pressão din. Vento: **0,5** **0,2** **0**
 Ps 0 Ps 1 Ps 2

Clique aqui para executar: **Estado Limite Último**

G: kN
 Q: **11** kN
 V1: kN
 V2: kN

C1: **15,4** kN/m **Q como principal**
 C2: **7,7** kN/m **V1 como principal**
 C3: **7,7** kN/m **V2 como principal**

Fonte: Autor, 2023

Figura 10 - Etapa de preenchimento de dados para cálculo de tração

Combinações **Tração/Compressão/Flexão**

Área destinada ao preenchimento de dados previamente fornecidos

Comprimento de fôrça (m): **15,4** m
 Largura: **4** m
 Altura: **10** m
 Diâmetro do furo: **0,1** m
 Comprimento de fôrça (m): **15,4** m

Folhas
☒ Coníferas
 Classe: **C30**
 f_{ck}: **30** f_{yk}: **4** E_{0,0}/m: **14500** p_{elas}, m: **600** p_{aparente}: **600**

Área destinada à análise de fôrças
 Campos necessários N, S, Q

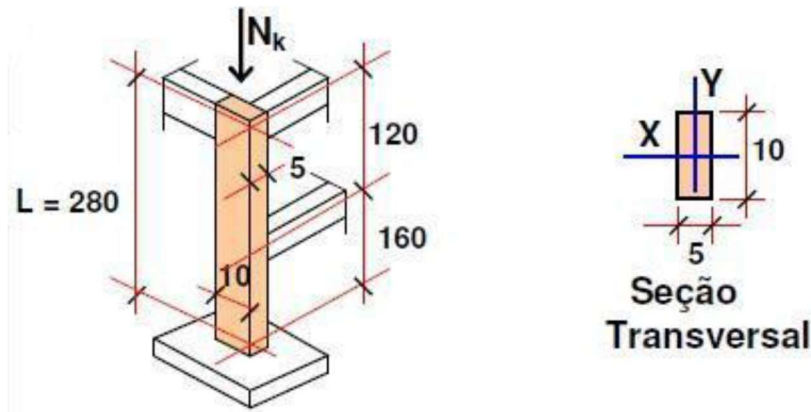
C. Carregamento (Wind 2): **Longa duração**
 Classe de Unidade (Wind 2): **1**
 Wind:

☒ Serrada ☐ Recompоста
 M. Serrada M. Recompоста
0,7 **0,45**
1 **1**

Área do fôrça: **0,75**
 Fôrças de seção reta
 Número de fôrças(N): **2**
 Área: **1,57** cm²
 Fôrças de seção zig-zag
 Número de fôrças(Q):

Fonte: Autor, 2023

Figura 12 - Ilustração do exercício teste



Fonte: Autor, 2023

5.1.2.1 Etapas de cálculo:

$$f_{c0,d} = \frac{5,52 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 0,8}{1,4} = \frac{2,21 \text{ kN}}{\text{cm}^2}$$

$$E_{c0,ef} = k_{mod1} \cdot k_{mod2} \cdot E_{c0,m}$$

$$E_{c0,ef} = 0,7 \cdot 1,2231,25 = 1561,875 \text{ kN/cm}^2$$

$$N_d = 1,4 \cdot (N_{Gk} + N_{Qk}) = 1,4 \cdot (5 + 15) = 28 \text{ kN}$$

$$I_x = \frac{5 \cdot 10^3}{12} = 416,666 \text{ cm}^4$$

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{417}{5 \cdot 10}} = 2,89 \text{ cm}$$

$$\lambda_x = \frac{L_x}{i_x} = \frac{280}{2,89} = 97$$

$$I_y = \frac{10 \cdot 5^3}{12} = 104 \text{ cm}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{104}{5 \cdot 10}} = 1,44 \text{ cm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_y}{i_y} = \frac{160}{1,44} = 111$$

$$\lambda_{rel,x} = \frac{\lambda_x}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c0k}}{E_{0,05}}} = \frac{97}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{2,21}{1561,875}} = 1,160$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c0k}}{E_{0,05}}} = \frac{111}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{2,21}{1561,875}} = 1,329$$

$$k_y = 0,5 \left[1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,3) + (\lambda_{rel,y})^2 \right] = 0,5 [1 + 0,2(1,329 - 0,3) + (1,329)^2] = 1,486$$

$$k_{cy} = \frac{1}{\left(k_y + \sqrt{((k_y)^2 - (\lambda_{rel,y})^2)}\right)} = \frac{1}{(1,486 + \sqrt{((1,486)^2 - (1,329)^2))}} = 0,465$$

$$\frac{\sigma_{Nc,d}}{(k_{cy} \cdot f_{c0,d})} \leq 1$$

A verificação se restringe à este trecho da equação pois devido ao fato da aplicação da carga ser no centro do elemento, não é gerado excentricidade.

$$\frac{\sigma_{Nc,d}}{(k_{cy} \cdot f_{c0,d})} \leq 1 \rightarrow \frac{\frac{28}{5,10}}{0,465 \cdot 2,21} = 0,545 \leq 1$$

Atende aos quesitos normativos da 7190-1:2022.

5.1.2.2 Resultados extraídos do *software*

Ademais nas figuras 13, 14 e 15 está exposto todo o preenchimento de informações necessário para a execução dos cálculos do item 5.1.2.1. Destacando que neste momento não houve preenchimento do campo *Nsd* isso porque o aplicativo foi configurado de forma a extrair o maior valor obtido no cálculo de combinações.

Figura 13 - Cálculo de combinações executado pelo aplicativo

Fonte: Autor, 2023

Figura 14 - Etapa de preenchimento de dados para o cálculo de compressão



Fonte: Autor, 2023

Figura 15 - Etapa final onde o aplicativo exibe a condição normativa com o termo "conferência"

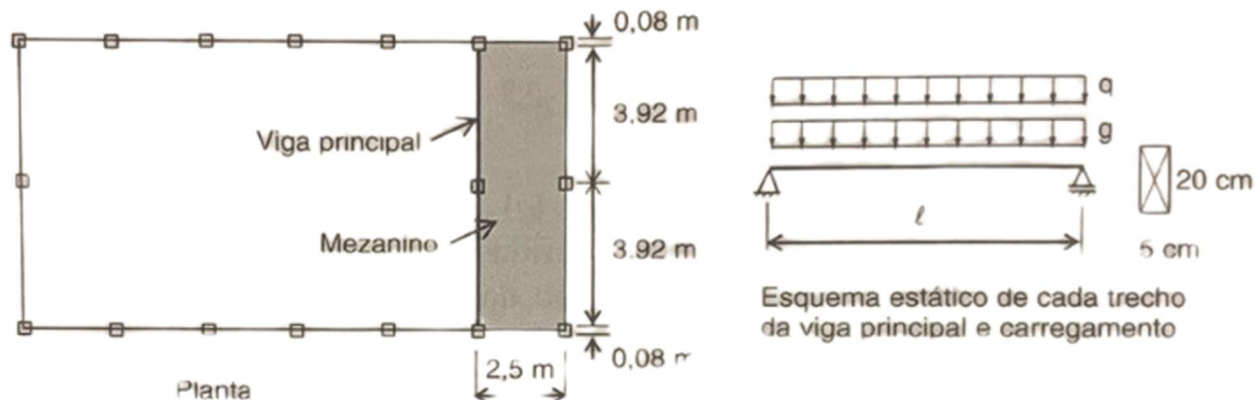


Fonte: Autor, 2023

5.1.3 Elemento fletido

Em um galpão com pé direito duplo, será construído um mezanino (2,5 x 8 m²) para ser utilizado como escritório, como exposto na figura a seguir.

Figura 16 - Detalhamento da viga submetida à flexão simples reta



Fonte: Estruturas de madeira, Triches Junior, 2019

Dados:

- Madeira folhosa, classe D60 ($f_{c0,k} = 60 \text{ MPa}$, $f_{v0,k} = 8 \text{ MPa}$, $E_{0,m} = E_{c0,m} = 24500 \text{ MPa}$)
- Solicitação da estrutura: $NK = 17,61704 \text{ KN}$
- Observar os critérios da NBR-7190-1:2022.
- Madeira serrada.
- Realizar a análise para ELU considerando as equações para Combinações últimas normais.
- Classe de carregamento de longa duração.
- Classe de umidade 2.

5.1.3.1 Etapas de cálculos manuais

$$f_{b,d} = k_{mod1} \cdot k_{mod2} \cdot \frac{f_{c0,k}}{\gamma_w} = 0,7 \cdot 0,9 \cdot \frac{60}{1,4} = 27 \text{ MPa}$$

$$M_{d,max} = \frac{NK \cdot l}{8} = 8,5 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{0,05 \cdot 0,2^2}{6} = 3,33 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{M,d} = \frac{M_d}{W} = \frac{8,5}{3,33 \cdot 10^{-4}} = 25,52 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{M,d}}{f_{b,d}} \leq 1 \rightarrow \frac{25,52}{27} \leq 1 \rightarrow 0,94 \leq 1$$

5.1.3.2 Resultados extraídos do software

Ademais nas figuras 17 e 18 está exposto todo o preenchimento de informações necessário para a execução dos cálculos do item 5.1.3.1.

Figura 17 - Etapa de preenchimento de dados para o cálculo de flexão



Fonte: Autor, 2023

Figura 18 - Aplicativo exibindo condição de segurança da norma após o cálculo



Fonte: Auto, 2023

5.2 Limitações do *app*

O aplicativo em questão apesar de ser uma ferramenta que tem como propósito beneficiar o processo produtivo dos usuários, devido às limitações oriundas da ferramenta utilizada para o desenvolvimento do mesmo, o aplicativo apresenta algumas limitações, podendo-se citar, não calcular peças submetidas à flexão simples oblíqua, flexotração, cisalhamento e torção. Além disso os valores calculados servem apenas para definirem o atendimento dos quesitos normativo, ou seja, o aplicativo não executa etapas de dimensionamento, isso implica que não é retornado as seções das peças, é necessário que o usuário já tenha feito etapas de pré dimensionamento e execute apenas etapas de conferência. Por fim, o último aspecto que se observa é quanto à etapa de análise de furos, uma vez que o aplicativo não avalia mais de uma seção na forma "zig-zague", entretanto, o aplicativo está configurado de forma a ler o valor da área de furos, possibilitando o cálculo, neste contexto, apenas com o fornecimento da área de furos calculada pelo usuário.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento de ferramentas e aplicações digitais tem como objetivo principal facilitar a vida e proporcionar maior liberdade aos seres humanos, permitindo-lhes direcionar seus esforços para atividades que exigem análise e raciocínio mais profundos, enquanto deixam tarefas repetitivas para serem executadas por algoritmos e ferramentas programadas.

Nesse contexto, foi criado o aplicativo de dimensionamento de estruturas de madeira em VBA aplicado ao Excel com a finalidade de otimizar o tempo e aprimorar a eficiência na elaboração de estruturas de madeira. Trata-se de uma ferramenta de fácil usabilidade e acesso gratuito, destinada a beneficiar tanto o meio acadêmico quanto o campo profissional da Engenharia Civil.

Os testes realizados com o *software* confirmaram a hipótese defendida neste trabalho, a qual sugere que um aplicativo móvel pode otimizar consideravelmente o processo de criação de estruturas de madeira em comparação aos métodos manuais. Os resultados demonstraram ganhos notáveis em termos de tempo e eficácia, além da redução da possibilidade de erros humanos, graças à automação dos cálculos.

No exercício de dimensionamento de elementos estruturais em madeira, observou-se que o tempo médio para concluir as análises usando o aplicativo foi de apenas 5 minutos, em contraste com as duas horas necessárias quando realizado manualmente. Isso representa uma economia de tempo significativa, permitindo que os profissionais concentrem seus esforços em outras etapas do projeto. Os resultados manuais foram extraídos a partir da média de tempo e assertividade em que os alunos da disciplina de estruturas de madeira (cerca de 30 alunos) levaram para a resolução das mesmas atividade aplicadas ao *software* como teste.

Além da otimização do tempo, o *app* também contribui para a redução de erros humanos. Durante os testes comparativos, observado que os resultados conferem com o gabarito, enquanto quando feito manualmente por diferentes pessoas, apresenta oscilações de resultados. Com a utilização do *app*, esses erros podem ser evitados, já que a ferramenta automatiza todo o processo de cálculo e verificação.

Portanto, fica evidente que o *software* é uma aplicação que possibilita uma significativa economia de tempo no dimensionamento de estruturas de madeira, além de contribuir para a redução de erros, garantindo maior confiabilidade e precisão nos resultados. Essa ferramenta tem o potencial de se tornar indispensável tanto para a comunidade acadêmica quanto para os profissionais da Engenharia Civil, simplificando e aprimorando o processo de criação de estruturas de madeira.

É importante destacar também o quanto a ferramenta contribui para a sociedade de engenheiros e acadêmicos, uma vez que o programa se encaixa em um contexto muito singular pois é um dos únicos a apresentarem todos os cálculos desenvolvidos baseando-se nas condições de cálculos da norma NBR 7190-1:2022.

Para trabalhos futuros, considera-se a possibilidade de desenvolver uma versão do *app* para outros tipos de análises relacionadas à madeira, como flexão paralela às fibras e análise de estabilidade da estrutura, de acordo com as normas brasileiras atualizadas. Além disso, a expansão da aplicação para abranger análises de outros materiais da construção civil, como o concreto, ou mesmo a madeira em contextos distintos, é uma perspectiva interessante.

7 REFERÊNCIAS

- ABNT. NBR 7190: Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro, 1997;
- ABNT. NBR 7190-1: Projeto de Estruturas de Madeira Parte 1: Projeto de Estrutura de Madeira. Rio de Janeiro, 2022.
- ABNT. NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas – Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MDF. O que é MDF. Disponível em: <https://www.abimci.com.br/o-que-e-mdf/>. Acesso em: 24 de mar. 2023.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004
- Beer, F. P., Johnston, E. R., DeWolf, J. T., & Mazurek, D. F. 2016. Mecânica dos Materiais. Editora AMGH.
- CARVALHO, Victorio Albani de. Lógica de Programação. 2016.
- COFANI, Francieli Stefani; DE GÓES, Jorge Luís Nunes. Software de apoio à aprendizagem para dimensionamento de pilares em madeira submetidos à compressão ou à flexo-compressão. 2017
- Comunidade de programadores onde você pode encontrar respostas para perguntas específicas de programação VB: Stack Overflow. 15 ago 2023. Visual Basic tagged questions. Recuperado de <https://stackoverflow.com/questions/tagged/visual-basic>
- DAURICIO, Juliana Schiavetto. Algoritmos e Lógica de Programação. **Londrina: Educacional**, 2015.
- DIAS, Antônio, et al. Estrutura de madeira: projetos, dimensionamento e exemplos de cálculos – 1. Ed. – Rio de Janeiro: Elsevier, 2019.
- EMBRAPA. Resíduos da madeira podem gerar energia e fertilizantes. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/4254822/residuos-da-madeira-podem-gerar-energia-e-fertilizantes>. Acesso em: 24 mar. 2023.
- FERNANDES, E. A. Et al. Sustainability in the constructuin industry: a review of recent developments based on LCA. Journal of Cleaner Production, c. 126, p. 321-336, 2016.
- Frye, Curtis D. (2019). "Excel 2019 All-in-One For Dummies." For Dummies.
- GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Método de pesquisa**. 1 ed. Porto Alegre: Editora da Harvey, Greg, e Paul McFedries. (2019). "Microsoft Excel 2019 Formulas and Functions." Microsoft Press.
- HIBBELER, Russell C. Mecânica para Engenheiros: Dinâmica. 10ª ed. São Paulo: Pearson, 2017.
- MENEZES, Isabella Silva et al. Comparative Dimensioning of Plane Timber Truss by ABNT NBR 7190: 1997 Method and ABNT NBR 7190-1: 2022 Method. **BioResources**, v. 17, n.

3, p. 5207-5214, 2022.

"Microsoft Excel." (2021). Microsoft Corporation. <https://www.microsoft.com/en-us/microsoft-365/excel>

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Resíduos sólidos. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/residuos-solidos.html>. Acesso em: 24 mar. 2023.

MORESCHI, J. C. Propriedades da Madeira. 4a Edição ed. Curitiba: FUPEF, p. 208, 2005.

Murray, T. M. (2007). Structural design for architects. Routledge.

Página oficial da Microsoft com documentação, tutoriais e exemplos para desenvolvedores VB: Microsoft.15 ago 2023. Visual Basic documentation. Recuperado de <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/visual-basic/>

PFEIL, Walter. Estruturas de madeira: Dimensionamento segundo a norma brasileira NBR 7190/97 e critérios das normas norte-americana NDS e européia EUROCODE 5 – 6.ed., rev. E ampl. – [Reimpr.]. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

TRICHES JUNIOR, Oscar Antônio. Elementos estruturais em madeira: desenvolvimento de programa computacional de dimensionamento. 2018. UFRGS, 2009.

Walkenbach, John. (2019). "Excel 2019 Bible." Wiley.