



ATUALIZAÇÃO DA ABNT NBR 7190/1997: estudo de caso de uma treliça de Angelim Pedra

Rhallyson de Sousa Nogueira¹, Adriano dos Guimarães de Carvalho²

¹Estudante do Curso Superior de Engenharia Civil – IFTO. e-mail: <rhallyson00@gmail.com>

²Docente do Curso Superior de Engenharia Civil – IFTO. e-mail: <agcarvalho@ifto.edu.br>

Resumo: O dimensionamento de peças estruturais submetidas a condições de incêndio é normatizado no Brasil e abrange alguns materiais como o concreto e o aço. Todavia, até o momento não há previsão normativa que leva em consideração elementos de madeira quando em situação de incêndio. Desta forma, tais peças de madeira podem não atender a requisitos estruturais indispensáveis à preservação da vida humana quando submetidas ao fogo. Este projeto realizou uma análise comparativa de uma estrutura de cobertura em madeira, dimensionada considerando as exigências da norma europeia (Eurocódigo), e também observando os critérios da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Os estudos indicaram que estruturas dimensionadas segundo os critérios do Eurocódigo resultam em construções com elementos mais robustos. De outra forma, pela ABNT a estrutura se apresentou com peças estruturais com seções transversais mais esbeltas, incorrendo em maior risco aos seus usuários quando submetidas a situações de incêndio. O trabalho evidenciou que é urgente a necessidade de se considerar quesitos como revestimentos de proteção contra fogo, aumento da seção de peças estruturais, dentre outros, de forma a garantir a segurança dos usuários em estruturas de madeira no Brasil.

Palavras-chave: estruturas de madeira, dimensionamento, incêndio

1 INTRODUÇÃO

A madeira é um material combustível, que quando em situação de incêndio, queima e produz gases que, se expostos ao calor produzem chamas, que aquecem a porção ainda não atingida pelo calor, liberando mais gases, gerando uma cadeia alimentando a combustão (FIGUEROA e MORAES, 2009).

Durante um incêndio o processo de degradação térmica ocasiona a redução gradual da seção transversal da peça substituída pelo material residual carbonizado, deste modo reduzindo proporcionalmente a suas propriedades mecânicas resistentes (PINTO e CALIL JUNIOR, 2006).

Este é o problema para a estrutura, uma vez que a peça tenha sido projetada para resistir a esforços equivalentes à sua resistência mecânica, quando a ela apresenta uma redução da capacidade resistente (menor seção transversal) de modo que o esforço solicitante a supere, a estrutura vem a colapso. Deste modo a capacidade resistente do material ao fogo deve ser observada de modo a garantir que mesmo com a redução de sua seção transversal, a peça ainda resista aos esforços solicitantes por tempo suficiente para evacuação e segurança dos usuários da edificação.

De acordo com Figueroa e Moraes (2009) a combustão de peças não esbeltas da madeira geram uma camada de material carbonizado que por sua vez funciona como uma espécie de isolante retardando a transmissão do calor para outras camadas mais profundas da madeira, assim retardando a redução da seção transversal da peça em questão, conseqüentemente prolongando o tempo de resistência da peça aos esforços de solicitação.



Segundo Pinto e Calil (2006) o processo de degradação térmico se divide em 4 zonas variando de acordo com a temperatura, porém segundo Figueroa e Moraes (2009), consideram que na verdade seriam 5 zonas¹, onde na faixa de temperatura de 280° a 500° “zona C” ocorreria uma subdivisão entre 280° e 380° a qual chamaremos de “C1” e 380° e 500° que chamaremos de “C2” estas zonas podem ser vistas no processo de carbonização da madeira com a temperatura penetrando na madeira, com um fluxo de calor que tende a diminuir, à medida que penetra na madeira.

Abaixo da camada carbonizada encontra-se uma faixa de madeira que, embora não tenha sido exposta a temperaturas elevadas o bastante para promover a carbonização, é afetada pela temperatura por meio da redução das propriedades mecânicas resultante da degradação dos componentes químicos da madeira. (PINTO e CALIL JUNIOR, 2006, p. 135)

A velocidade da degradação varia de acordo com diversos fatores relacionado a madeira, tendo como resíduo o material carbonizado, a taxa relativa a dificuldade de carbonização do material é denominada de taxa de carbonização. Esta é observada por indicar, mesmo que de maneira indireta, a resistência de peças estruturais ao fogo, uma vez que a resistência da peça reduz a medida que sua seção transversal diminui pela carbonização (FIGUEROA e MORAES, 2009).

A taxa de carbonização é obtida através de ensaios de incêndio com peças de tamanho real, uma vez que o efeito de carbonização não pode ser reproduzido em escala, visando a simulação de um incêndio real estes ensaios seguem padrões de aumento de temperatura padronizados pelas normas ISO 834 (1990) e ASTM E 119-08a (2009).

A NBR 7190/1997, norma ainda em vigor, fixa as condições gerais que devem ser seguidas para a elaboração, execução e controle de projetos estruturais de madeira, porém a mesma não contém prescrições, ou recomendações para o projeto, execução e controle de peças quando em condição de incêndio, não há qualquer parágrafo relacionado ao dimensionamento ou consideração relativa a segurança estrutural quando no caso de incêndio.

¹ Zona A (até 200°): libera vapor de água e gases, mudança de cor, reação exotérmica de oxidação, pirólise lenta. Zona B (de 200° a 280°): ignição da madeira, aumento de reação química e liberação de gases, reações exotérmicas primárias sem inflamação, pirólise rápida. Zona C1 (de 280° a 380°): produção de ácidos acéticos e metanol, material residual carvão vegetal, fase exotérmica. Zona C2 (de 380° a 500°): redução da emissão de gases, produção de ácido acético, metanol e substâncias gasosas condensáveis, 70% de perda de massa, fase exotérmica. Zona D (mais que 500°): finalizado processo de gaseificação, produto residual carvão, fase exotérmica (PINTO e CALIL JUNIOR, 2006, p. 135).



A norma brasileira permite um dimensionamento levando em consideração apenas as hipóteses básicas de segurança, as ações e as propriedades da madeira, sendo os métodos de cálculo baseados no dimensionamento pelo estado limite último (ELU) e estado limite de utilização (ELS). Em nenhuma das situações das hipóteses de projeto é considerado o comportamento da madeira devido a degradação térmica, ou ainda, a utilização de qualquer fator de segurança levando em consideração a possível diminuição da seção transversal das peças estruturais devido a ação do fogo, podendo oferecer um grande risco às pessoas.

Por outro lado a norma Europeia permite estabelecer, além dos parâmetros da NBR 7190/1997, também critérios de segurança nas quais visam garantir a estabilidade da estrutura de forma a proporcionar um tempo para que os seus usuários possam sair do local no caso da existência de um incêndio. Alguns parâmetros de proteção em caso de incêndio que obrigatoriamente devem ser atendidos são a segurança estrutural por determinado tempo e garantia de isolamento e proteção térmica.

Considerando tais diferenças de análise entre as duas normas de dimensionamento, realizou-se uma análise comparativa do dimensionamento de um modelo composto por uma cobertura em estrutura de madeira segundo os dois regramentos: (i) considerando as exigências da ABNT NBR 7190/1997 e; (ii) pelo Eurocódigo (EN 1995-1-1:2004 e EN 1995-1-2:2004). Os resultados possibilitaram sugestões para a realização de uma atualização da norma brasileira, de forma a minimizar os riscos envolvidos em incêndios de estruturas de madeira.

2 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para a modelagem numérica apresentou algumas diferenças quanto a sua execução. Normalmente o projetista realiza o desenho da estrutura a partir de ferramentas de desenho assistido por computador (CAD).

Para este estudo partiu-se do princípio que a estrutura já existia, entretanto, não foi realizado nenhum desenho utilizando-se plataformas do tipo CAD. Buscando inovar e agilizar os trabalhos de levantamento de campo, realizou-se o escaneamento da estrutura existente (treliça de madeira), a partir de um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT).

Para este estudo o equipamento utilizado foi um VANT-DRONE marca DJI modelo Phantom 4 Advanced. As imagens capturadas proporcionaram a construção de um modelo 3D da estrutura. Os elementos 3D foram então vetorizados e exportados para o programa de modelagem estrutural utilizado na pesquisa.

A estrutura escolhida para ser modelada foi uma cobertura de madeira para um galpão industrial (cinco metros de largura e vinte de comprimento), composta por treliças do tipo Howe, terças também em madeira e sistema de cobertura com telhas em fibrocimento.

Visando reduzir os custos para a implantação da cobertura completa, realizou-se apenas a construção de uma treliça. Vale ressaltar que os elementos estruturais do tipo treliçados, normalmente se repetem ao longo da estrutura. Neste sentido foi construída, próximo ao Laboratório de Materiais de Construção do IFTO – Campus Palmas (Figura 1).

Figura 1 – Treliça do tipo Howe construída.



Fonte: próprio autor (2020).

A treliça Howe possuía banzos superior e inferior em Angelim Pedra (*Dinizia excelsa*) com seções transversais de cinco por vinte centímetros, e os montantes e diagonais, também em Angelim Pedra, com seções de cinco por catorze centímetros. O seu comprimento foi de oito metros, seções dos banzos (inferior e superior) de 4 X 20 cm, diagonais e montantes de 4 X 14 cm, terças de 4 X 14 cm e contraventamentos de 5 X 5 cm.

Após a sua construção da treliça, ela foi escaneada com o auxílio do VANT, vetorizada e exportada para o ambiente CAD do programa utilizado para a análise estrutural (CYPE 3D®). A partir desta, foram adicionadas as demais peças estruturais (treliças adjacentes, terças, contraventamentos, dentre outros elementos), necessárias ao bom funcionamento estrutural do telhado.

Os carregamentos considerados para a modelagem computacional foram: (i) peso próprio da estrutura (calculado de forma automática pela ferramenta de análise); (ii) telha ondulada fibrocimento:



6,0 Kgf/m²; (iii) estrutura de placas fotovoltaicas: 16,0 Kgf/m²; (iv) sobrecarga da cobertura: 25,0 Kgf/m²; (v) carga de pessoal de instalação de 100,0 kgf (manutenção e/ou instalação dos painéis); (vi) vento 0°: 50,0 Kgf/m² (sucção); (vii) vento 90°: 44,0 kgf/m² (Pressão) / 44,0 kgf/m² (sucção).

Com a estrutura completa lançada no programa (CYPE 3D®) foram realizadas as devidas análises conforme a norma NBR 7190/1997 (ABNT, 1997), no que tange a análise relativa a ELU e ELS, e posteriormente por meio da Eurocódigo EN 1995-1-2:2004 (*Eurocode 5*, 2004) que considera o ELU, ELS e situações de incêndio no dimensionamento.

As modelagens relativas a verificação do fogo pelo Eurocódigo modifica os coeficientes e parâmetros de resistência de projeto, ponderando as propriedades de resistência de cálculo da madeira agindo em favor da segurança. Nestas análises, as propriedades do material podem ser alteradas por meio de métodos simplificados (levam em consideração a variação de temperatura no material com o emprego de curvas de incêndio padronizadas), ou métodos avançados (alteração de temperatura dos elementos durante um incêndio através de parâmetros específicos).

A metodologia simplificada utiliza como base a curva de incêndio padrão ISO 834. O dimensionamento simplificado pode ser efetuado por dois métodos, o método de redução da seção transversal e o método de redução das propriedades do material.

O método de redução da seção transversal (adotado neste estudo) caracteriza-se por prever a seção resistente da peça analisada após um período de tempo “t” sob a ação do incêndio, de modo que as verificações devem ser efetuadas para a seção transversal resistente efetiva (após a queima do material por um determinado período de tempo).

Para o método de redução das propriedades adota-se a seção residual da peça após um período de tempo “t”, sob a ação do incêndio, alterando-se também o coeficiente de modificação relativo ao incêndio, “ $K_{mod,fi}$ ”, para cada propriedade de resistência analisada.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Considerando que a madeira utilizada foi Angelim Pedra Verdadeiro (*Dinizia excelsa*), suas características mecânicas foram retiradas da tabela E.1 da NBR 7190/1997 (ABNT, 1997), e são apresentadas a seguir: (i) $f_{c0m} = 76,7$ MPa; (ii) $f_{t0m} = 104,9$ MPa; (iii) $f_{t90m} = 4,8$ MPa; (iv) $f_{vm} = 11,3$ MPa; (v) $E_{c0m} = 16.694$ MPa; (vi) $\varphi_{ap} = 1170$ kg/m³. Sendo: (i) $f_{c0m} \rightarrow$ resistência média a compressão paralela as fibras; (ii) $f_{t0m} \rightarrow$ resistência média a tração paralela as fibras; (iii) $f_{t90} \rightarrow$ resistência média a tração normal as fibras; (iv) $f_{vm} \rightarrow$ resistência média ao cisalhamento; (v) $E_{c0m} \rightarrow$ Rigidez média a compressão paralelas as fibras; (vi) $\varphi_{ap} \rightarrow$ Densidade média aparente.

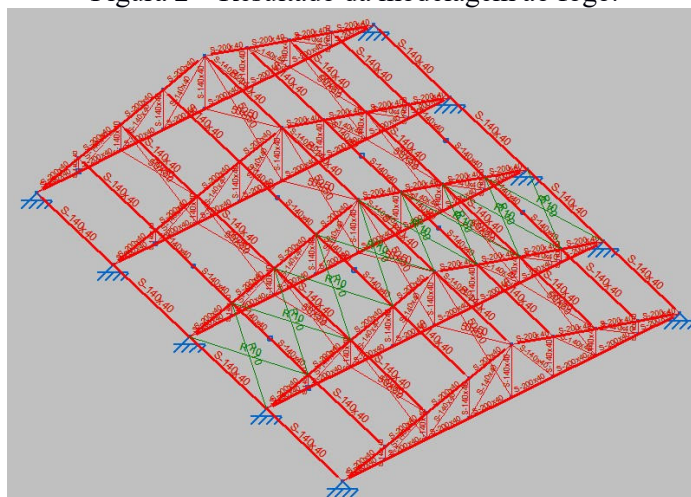
Os parâmetros de configuração utilizados no programa de análise estrutural foram: (i) madeira serrada; (ii) classe de serviço 1; (iii) classe de resistência C60; (iv) madeira de segunda categoria; (v) edificações comerciais de escritório e de acesso ao público. Para o fogo admitiu-se resistência requerida R30, tempo de falha da proteção de dez minutos e proteção com placas de gesso acartonado.

Os resultados da verificação dos critérios de verificação levando em consideração a ABNT e também o Eurocódigo mostraram que, do ponto de vista apenas da avaliação estrutural, as seções transversais escolhidas para os elementos que compõe a cobertura (banzos inferior e superior de 4 X 20 cm, diagonais e montantes de 4 X 14 cm, terças de 4 X 14 cm e contraventamentos de 5 X 5 cm), atendem os critérios de resistência quanto à análise de ELU e ELS.

Na verdade as duas normas possuem metodologias e procedimentos de verificação estrutural muito semelhantes. Algumas pequenas diferenças podem ser observadas quanto a adoção dos coeficientes de modificação e de ponderação, visto que o Eurocódigo apresenta um maior leque de opções e possibilidades para a escolhas dos mesmos, permitindo procedimentos de análises mais criteriosos.

As análises dos resultados de dimensionamento da estrutura quando em situação de incêndio realizadas a partir do Eurocódigo, indicaram que as seções transversais adotadas, não atendem aos critérios de dimensionamento ao fogo estabelecidos pelo Eurocódigo (*Eurocode 5*, 2004) (Figura 2).

Figura 2 – Resultado da modelagem ao fogo.



Fonte: próprio autor (2020).

Na figura 2 temos que após a análise estrutural dos elementos considerando a situação da estrutura sob condições de incêndio, as barras que aparecem em vermelho, não atendem aos critérios do Eurocódigo (*Eurocode 5*, 2004).



Os caminhos nas quais devem ser seguidos podem ser estabelecidos a partir de duas vertentes: (i) uma alteração na seção transversal dos elementos da treliça (aumento de seção); ou (ii) proteção passiva dos elementos estruturais por meio de dispositivos que possam retardar o contato da chama ao elemento estrutural (pintura intumescente, placas e mantas pré-fabricadas de gesso acartonado, revestimentos de argamassa projetada, dentre outras).

A escolha da melhor solução deve estar pautada em uma análise de viabilidade do método que se mostre eficiente e ao mesmo tempo menos custoso. Neste caso em particular, foi adotada a solução de alteração das seções transversais dos elementos estruturais que não atendiam as exigências da norma Europeia. Desta forma, as seções dimensionais dos perfis resistentes ao fogo, sugeridas pelo programa de análise estrutural foram, segundo a EN 1995-1-2:2004 foram: banzo inferior e superior 20 x 8 cm, montantes 14 x 8 cm, diagonais: 14 x 6 cm, terças: 14 x 8 cm e contraventamentos: 10 x 7 cm.

No caso da norma europeia, os resultados do programa indicaram que espessuras de lados muito esbeltas, não são aceitáveis a ponto de garantir segurança às pessoas. Na verdade, o objetivo principal da análise ao fogo é determinar seções transversais da estrutura de madeira, que resistam tempo suficiente, para que as pessoas possam evacuar o local em caso de incêndio. As peças devem possuir espessuras que permitam de serem carbonatadas (queimadas) em sua espessura, e ainda assim, proporcionar garantias para sua sustentação.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo indicou que em relação ao dimensionamento estrutural realizado na treliça de madeira adotada, não há diferenças quando a análise é realizada a partir dos critérios de ELU e ELS. Ambas as verificações indicaram seções transversais idênticas (banzos inferior e superior de 4 X 20 cm, diagonais e montantes de 4 X 14 cm, terças de 4 X 14 cm e contraventamentos de 5 X 5 cm).

Ainda na análise mecânica (ELU e ELS), ressalta-se algumas particularidades no que tange a pequenas diferenças nos critérios de dimensionamento exigidos por cada uma delas. Pode-se exemplificar os casos referentes a ações, combinações e pela padronização de cálculo observados na NBR 7190/1997 (ABNT 1997), no que tange a fixação da umidade da madeira em 12%, apresentando correções para a resistência de peças com umidade diferentes. Este fator de correção de umidade não é adotado no Eurocódigo. Todavia, apesar das diferenças, elas não proporcionaram resultados distintos na análise estrutural realizada por ambas as normas.

Quando da realização da análise por fogo, critério adotado apenas pelo Eurocódigo, observou-se que não são toleradas peças com seções transversais esbeltas, visto que estes elementos podem ser rapidamente consumidos pelas chamas. Os resultados indicaram as seguintes seções dos elementos de



madeira: banzo inferior e superior 20 x 8 cm, montantes 14 x 8 cm, diagonais: 14 x 6 cm, terças: 14 x 8 cm e contraventamentos: 10 x 7 cm.

A norma de dimensionamento de estruturas de madeira da ABNT não apresenta em seu arcabouço, critérios de dimensionamento que levem em consideração situações de incêndio. Os resultados de análise por fogo do Eurocódigo indicam a necessidade de estruturas mais robustas (maiores seções) que aquelas dimensionadas pela ABNT. Neste caso, pode-se inferir que construções realizadas segundo a norma Brasileira, se sofrerem ações de fogo, poderão oferecer alto risco aos seus usuários.

Sugere-se que a norma da ABNT NBR 7190/1997 passe por um processo de reformulação visando organizar, simplificar e aperfeiçoar os seus critérios de dimensionamento, além de incluir metodologias de análise que incorporem situações de incêndio em estruturas.

Para estudos futuros sugere-se averiguar o comportamento mecânico da estrutura (ELU e ELS), e também quando em situações de incêndio, avaliando-se outras espécies usuais para a região do Tocantins. Pode-se também utilizar métodos de análise avançados a partir de elementos finitos, permitindo-se refinar as investigações e se obter estruturas mais econômicas.

5 AGRADEÇIMENTOS

Agradeço ao Instituto Federal do Tocantins pelo suporte financeiro ao projeto de pesquisa por meio do Edital nº 31/2019/REI/IFTO.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **ASTM E119**: Standard test methods for fire tests of building construction and materials. Philadelphia: ASTM, 2009.

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

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION - **Eurocode 5**: Design of Timber Structures - Part 1-2: General - Structural fire design. Novembro, 2004.

FIGUEROA, M. J. M.; MORAES, P. D. Comportamento da madeira a temperaturas elevadas. **Ambiente Construído**, v. 9, n. 4, p. 157-174, 2009.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. **ISO 834**: Fire-Resistance Tests – Elements of Building Construction – Part 1.1: General Requirements for Fire Resistance Testing. Geneva: ISO/TC, 1990.

PINTO, E. M.; CARLITO, CALIL Jr. Estudo Teórico e experimental sobre a degradação térmica da madeira de Eucalyptus de uso estrutural exposta ao fogo. **Revista Minerva**, v. 3, p. 131-140, 2006.