

COMPORTAMENTO DE ESTRUTURAS METÁLICAS SOB ALTAS TEMPERATURA – UMA BREVE REVISÃO

Wagner Alves Aguiar Aguiar¹

Thiago Vinícius Lima Leite²

Moisés Freitas Gomes Júnior³

Jéssica Nathália Florêncio Zampieri⁴

Resumo: O estudo do comportamento de estruturas metálicas sob situação de incêndio permite a redução do risco patrimonial e pessoal durante a ocorrência de tal fenômeno. Assim, esse ensaio visa revisar estudos relacionados à variação das características do aço sob variação de temperaturas e seus efeitos sob a estrutura, de modo geral. As características térmicas e mecânicas do aço são diretamente afetadas pelas temperaturas atingidas em um incêndio, tendo sua resistência mecânica reduzida em até 77% ao atingir 700° C, quando comparada à temperatura ambiente, o que pode levar o elemento estrutural ao colapso. Simultaneamente à redução da resistência, ocorre a variação de comprimento da peça, que quando restringida insere novos esforços à estrutura. Neste caso, é necessário se analisar a esbelteza da peça, uma vez que ela pode colapsar devido à flambagem, com esforços inferiores àqueles para os quais fora projetada. Deste modo, devido à complexidade dos elementos a serem analisados, o estudo de soluções computacionais pode auxiliar no avanço desta área, aumentando o segurança de tais edificações.

PALAVRAS-CHAVE: Incêndio. Estrutura. Análise estrutural.

BEHAVIOR OF HIGH TEMPERATURE METAL STRUCTURES - A BRIEF REVIEW

Abstract: The study of the behavior of metallic structures in fire situations allows a reduction of the patrimonial and personal risk during an occurrence of this phenomenon. Thus, this essay aims to review studies related to the variation of steel characteristics under temperature variation and its effects on the structure, in general. The thermal and mechanical characteristics of steel are directly affected by the temperatures reached in a fire, and their mechanical strength is reduced by up to 77% to 700 ° C when compared to room temperature, which can lead it to structural collapse. Simultaneously with the reduction in strength, a variation in the length of the elements occurs; however, when there are constraints, new stresses are inserted in the structure. In this case, it is necessary to analyze the part specifications as it may collapse due to buckling, with the estimated lower limits for which they are designed. So, due to the complexity of the elements to be analyzed, the study of computational solutions can help advance this area, improving such buildings security.

KEYWORDS: Fire. Structure. Structure analysis.

¹ Centro Universitário Unicathedral / Professor. E-mail: wagner.mendonca.aguiar@gmail.com.

² Centro Universitário Unicathedral / Professor. E-mail: thiago.leite@unicathedral.edu.br

³ Centro Universitário Unicathedral / Professor. E-mail: moises.freitas@unicathedral.edu.br

⁴ Centro Universitário Unicathedral / Professora. E-mail: jessica_zampieri@hotmail.com

1. INTRODUÇÃO

O comportamento mecânico das estruturas é diretamente afetado pela temperatura em que se encontram. Assim, a ocorrência de incêndios pode levá-las à instabilidade sob carregamentos inferiores aos projetados (SILVA, 1997), sendo sua análise, portanto, necessária para aumentar a segurança dos usuários.

A variação de temperatura em um material, a depender de suas condições de contorno, introduzem no elemento estrutural forças internas e deformações que devem ser consideradas nos cálculos de combinação excepcionais durante seu projeto. Além disso, ao atingirem determinadas temperaturas, os materiais apresentam degradação de suas propriedades mecânicas, perdendo resistência e aumentando drasticamente sua deformação (SILVA, 2017; ASTM, 2000).

Assim, este ensaio visa compilar alguns conceitos fundamentais para a compreensão do comportamento de estruturas metálicas em situação de incêndio. Para isso, serão apresentados os conceitos básicos referentes às propriedades do aço sob influência de variação de temperatura e em seguida, o comportamento de estruturas com e sem restrição axial, comparando-os.

2. INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NAS PROPRIEDADES DO AÇO

Como observado nas mudanças de estados físicos da água, todos os materiais modificam suas propriedades como resposta à variação de temperatura. No caso do aço, material sólido em temperatura ambiente, o aumento de temperatura lhe causa degradação em sua resistência mecânica, módulo de elasticidade, tensão de escoamento, condutibilidade térmica e calor específico (CEB, 1995).

Segundo as normas europeias (EUROCODE), do Comitê Europeu de Padronização (*European Committee for Standardization* – CEB, 1995), a tensão de escoamento do aço (f_y) começa a diminuir ao atingir a temperatura de 400° C, sendo que, após 10 minutos de incêndio (ASTM, 2000), quando a temperatura pode passar dos 700° C, o aço pode apresentar uma tensão de escoamento de apenas 23%, daquele em temperatura ambiente, levando à deformações permanentes sob carregamentos muito inferiores.

De modo análogo, o módulo de elasticidade tangente (E) apresenta redução com o aumento de temperatura, aumentando a deformação do material, sem a necessidade de

acréscimo de esforços. A deterioração de tal propriedade do aço estrutural, aos 400° C, chega a 30% quando comparada com aquela em temperatura ambiente (CEB, 1995; ASTM, 2000).

Assim como as propriedades mecânicas, as propriedades térmicas do aço são influenciadas pela variação da temperatura. Vale destacar que a condutividade termal (λ), isto é, a capacidade de transmissão de calor, do aço é reduzida com o aumento da temperatura por volta dos 800° C, a partir da qual, se estabiliza (CEB, 1995). Tal característica é relevante, principalmente, para peças com seções de espessuras elevadas, uma vez que ocorre a redução da velocidade de difusão do calor, seu gradiente de temperatura se torna mais significativo que em peças delgadas.

3. COMPORTAMENTO DE ESTRUTURAS SOB SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

O estudo do comportamento de estruturas sob situação de incêndio permite aprimorar a integração entre os diferentes tipos de carregamentos e métodos de cálculos de modo a simplificar os cálculos e/ou minorar coeficientes de incerteza, aumentando a eficiência do projeto estrutural, após sua devida validação experimental e numérica (PILOTO; REAL, 2001).

A temperatura pode alterar expressivamente as propriedades dos materiais, como sua resistência mecânica ou fragilidade (Askeland e Wright, 2014), porém a principal influência da variação térmica, devido a um incêndio, no comportamento de uma estrutura pode ser representada por sua deformação (NASCIMENTO, 2017; USMANI *et al.*, 2001), sendo sua composição total, função das deformações causadas pela variação de temperatura, também chamada de dilatação térmica, e por solicitações mecânicas. Assim, a deformação longitudinal específica total (ϵ_{total}) pode ser expressa pela Equação 1:

$$\epsilon_{total} = \epsilon_{térmica} + \epsilon_{mecânica} \quad (1)$$

Onde:

$\epsilon_{térmica}$ é a deformação específica térmica;

$\epsilon_{mecânica}$ é a deformação específica mecânica.

A dilatação térmica depende tanto da variação de temperatura ($\Delta\theta$), a qual o elemento em análise é submetido, quanto ao seu coeficiente de dilatação térmica (α), propriedade intrínseca de cada material que indica a variação de comprimento que nele ocorre para cada unidade de temperatura alterada, conforme representado na Equação 2.

$$\epsilon_{térmica} = \alpha \cdot \Delta\theta \quad (2)$$

Quando o elemento não tem restrição de deslocamento longitudinal, como no caso de uma viga simplesmente apoiada ou monoengastada, a variação de temperatura lhe causa uma deformação sem a inserção de novos esforços, uma vez que este movimento lhe é permitido (PILOTO; REAL, 2001).

Porém, caso haja um impedimento desse deslocamento axial, como em uma viga biengastada, este corpo apresentará esforços contrários à tendência de movimentação térmica, gerando uma deformação mecânica que tende a anular as deformações totais (Equação 3).

$$\epsilon_{térmica} = -\epsilon_{mecânica} \quad (3)$$

Como a deformação mecânica de uma viga prismática submetida à carga axial constante pode ser representada pela Equação 4, a partir das Equações 2 e 3, quando restringida axialmente e sujeita a um aumento de temperatura, sob deformação elástico-plástica perfeita, a força restritiva (F_r) gerada na viga é representada pela Equação 5.

$$\epsilon_{mecânica} = \frac{P}{E \cdot A} \quad (4)$$

$$F_r = E \cdot A \cdot \alpha \cdot \Delta\theta \quad (5)$$

Onde:

P é a carga axial na qual o elemento é submetido;

E é o modulo de Young do material;

A é a área de seção transversal do elemento.

Nos casos em que se tem um perfil chamado de compacto, ou seja, aquele em que a força crítica de flambagem não é atingida no elemento, determina-se o acréscimo de temperatura ($\Delta\theta_y$) na peça, sujeita apenas a um carregamento termal, em que se atinge sua tensão de escoamento (f_y) a partir da Equação 5.

$$\Delta\theta_y = \frac{f_y}{E \cdot \alpha} \quad (5)$$

Já nos casos em que a geometria da peça permite que ocorra a flambagem, é necessário se determine o aumento de temperatura (θ_{cr}) em que a peça atingirá sua carga força crítica de flambagem elástica (F_{cr}), a qual, combinada com a tensão gerada pela restrição da expansão axial devido ao aumento de temperatura, é representada pela Equação 6.

$$\Delta\theta_{cr} = \frac{\pi^2}{\alpha \cdot \lambda^2}$$

(6)

Onde:

λ é a esbeltez da peça.

Segundo Rotter *et al.* (1999), tratando-se de um material elástico e sem que ocorra a degradação termal do material, após a flambagem da peça o aumento da temperatura, de modo uniforme, não irá aumentar os esforços axiais de reação, porém aumentará a flecha.

Em situações reais de incêndio, entretanto, a temperatura não varia uniformemente em toda a peça, mas de modo gradual, gerando um gradiente de temperatura na peça, causando sua curvatura. Tal gradiente torna necessária a análise de como o calor se difunde pela peça, afetando diretamente a resistência do elemento estrutural (USMANI *et al.*, 2001). Além disso, para uma análise numérica realística devem ser consideradas as combinações de cargas térmicas com os carregamentos que a estrutura é submetida, as condições de apoio e a degradação térmica do material, o que aumenta consideravelmente a complexidade de tais sistemas. Assim, a simulação computacional se torna uma ferramenta de grande relevância em sua análise.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao analisar o comportamento apresentado pelas estruturas metálicas em situação de incêndio, percebe-se a necessidade de ser considerado nos projetos, uma vez que o aço sofre alterações em suas propriedades relacionadas a altas temperaturas que podem levar a estrutura ao colapso. Por se tratarem de análises não lineares, com diversas dependentes, é recomendado que o estudo de seu comportamento seja realizado por meio de simulações computacionais.

Assim, trabalhos que visem desenvolver métodos de análises de estruturas sob situações de incêndio podem ser considerados relevantes para a sociedade de modo geral, em especial àqueles que busquem metodologias que reduzam a complexidade de sua verificação comparando-as com trabalhos experimentais.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials**. ASTM E119. Washington. 2000.

ASKELAND, Donald R.; WRIGHT, Wendelin J.; **Ciência e engenharia dos Materiais**. 3. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION - CEB. **Design of steel structures. Structural fire design (Part 1.2)**. Eurocode 3 - ENV 1993-1-2. Bruxelas. 1995.

PILOTO, Paulo Alexandre Gonçalves; VILA REAL, Paulo J. M. M. F. **Comportamento termo-mecânico de vigas com restrição à deformação axial sujeitas a temperaturas elevadas.** In: Encontro de Construção Metálica e Mista, Aveiro, Portugal (2001).

NASCIMENTO, Julia Souza; **Comportamento de vigas de aço em incêndio com deformação térmica restringida.** 2017. 137 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, Vitória, 2017.

ROTTER, J. M.; SANAD, A. M.; USMANI, A. S.; GILLIE, Martin. Structural performance of redundant structures under local fires. Proceedings of the Interflam'99, **Eighth International Fire Science and Engineering Conference**, Edinburgo, Escócia, 29 de Junho –1 Julho 1999. p. 1069–80.

SILVA, Valdir Pignatta e. **Estruturas de aço em situação de incêndio.** 1997. 170 f. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 1997.

USMANI, A. S.; ROTTER, J. M.; LAMONT, S.; SANAD, M.; GILLIE, M.; Fundamental Principles of structural behaviour under thermal effects. **Fire Safety Journal**. v. 36 (8): p. 721-744, 2001.