

ABORDAGEM PEDAGÓGICA COMPARATIVA DE ESTRUTURAS DE AÇO EM TEMPERATURA AMBIENTE E EM TEMPERATURA ELEVADA

Karina de Oliveira Nascimento – karinadeo.nascimento@gmail.com

Universidade Federal do Espírito Santo

Av. Fernando Ferrari, 514 - Goiabeiras

29075-910 – Vitória – Espírito Santo

Walnório Graça Ferreira – walnorio@gmail.com

Universidade Federal do Espírito Santo

Av. Fernando Ferrari, 514 - Goiabeiras

29075-910 – Vitória – Espírito Santo

Resumo: A utilização de estruturas de aço na construção civil, em muitos casos, é sinônimo de rapidez na execução, precisão de projeto e redução de perdas. Dessa forma, o ensino sobre seu correto dimensionamento, em temperatura ambiente, tem sido consolidado nas universidades. Entretanto, em temperatura elevada, o aço apresenta perda de rigidez e resistência mecânica, podendo comprometer a estrutura da qual faz parte. Sendo assim, este trabalho apresenta a análise comparativa das resistências de elementos estruturais de aço em temperatura ambiente e em temperatura elevada, sujeitas aos esforços de tração, compressão e flexão; apresentando importância pedagógica, por auxiliar no aprendizado dos estudantes quanto ao cálculo da resistência em temperatura elevada, usando como referência os cálculos advindos da temperatura ambiente. Ressalta-se que o correto dimensionamento das estruturas de aço em incêndio é de primordial importância, não apenas como forma de atenuar os casos de perdas patrimoniais, como também evitar tragédias com perdas humanas.

Palavras-chave: Estruturas em situação de incêndio. Estruturas de aço. Análise comparativa. Ensino.

1 INTRODUÇÃO

Devido à baixa probabilidade de ocorrência, o estudo de segurança das estruturas em situação de incêndio ainda é pouco abordado nas universidades. Entretanto, ao analisar as diversas catástrofes ao longo da história no país, como o incêndio no edifício Joelma em 1974 resultando em 188 mortes, boate Kiss em 2013 com mais de 240 mortos, Museu Nacional em 2018, destruindo quase a totalidade de seu acervo histórico e científico construído ao longo de 200 anos (DOMINGUES, 2018), é ratificada a importância do correto dimensionamento estrutural dos edifícios não apenas em temperatura ambiente, como também em temperatura elevada.

A substituição das estruturas de concreto pelas estruturas de aço corresponde a uma mudança do sistema artesanal tradicional para a industrialização, com benefícios que podem ser notados em todas as etapas da obra, da fundação até às instalações elétricas (BADKE NETO; FERREIRA, 2015). Sendo assim, o ensino abordando o dimensionamento de estruturas de aço a temperatura ambiente tem ganhado espaço dentro de sala de aula, facilitando a compreensão dos estudantes sobre o tema.

Entretanto, ao analisar suas propriedades, sabe-se que o aço é um material com elevada rigidez e resistência mecânica. Em vista disso, as seções transversais de seus elementos estruturais são mais esbeltas do que aquelas das estruturas de concreto armado, para um mesmo nível de esforço solicitante (FERREIRA; CORREIA; AZEVEDO, 2006). Dessa forma, com o aumento da temperatura, por apresentarem como características intrínsecas ao material baixo calor específico e elevada condutividade térmica, as estruturas de aço sofrem rápida propagação de calor, e consequentemente, perda progressiva de resistência mecânica, podendo comprometer a estrutura da qual faz parte (colapso estrutural).

No Brasil, encontrou-se apenas um artigo onde se realiza a análise comparativa entre as normas ABNT NBR 14323:2013 e sua versão de 1999 (VIEIRA; SANTOS; MENDES; BEZERRA; SILVA, 2016), ou seja, a comparação entre os procedimentos pela norma antiga (ABNT NBR 14323:1999) e atual (ABNT NBR 14323:2013).

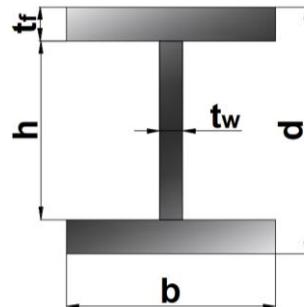
Dado a relevância do tema para contribuição no aprendizado integral dos estudantes sobre estruturas de aço, como também garantia da segurança das construções projetadas, esta pesquisa tem por objetivo a comparação didática dos principais estados limites analisados no dimensionamento de elementos estruturais em aço quando em temperatura ambiente e em situação de incêndio.

2 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para cálculo da resistência dos componentes individuais de aço, em situação de incêndio, teve como referência ABNT NBR 14432:2001 e o método simplificado presente na ABNT NBR 14323:2013. Por sua vez, para determinação em temperatura ambiente, ABNT NBR 8800:2008.

A análise abrange barras com perfis abertos (Figura 1), submetidos aos esforços de tração, compressão e flexão.

Figura 1 – Parâmetros da seção estudada



3 BARRAS SUBMETIDAS AO ESFORÇO AXIAL DE TRAÇÃO

3.1 Temperatura ambiente

Para determinação da força axial de tração resistente de cálculo ($N_{t,Rd}$) em uma barra, a temperatura ambiente, deve se analisar os estados-limites últimos de escoamento da seção transversal bruta (A_g), como também a ruptura da seção líquida efetiva (A_e), representado pelas Equações 1 e 2, respectivamente.

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}} \quad (1)$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A_e f_u}{\gamma_{a2}} \quad (2)$$

Em regiões com furos, a área líquida (A_n) é tida como a soma dos produtos da espessura (t) pela largura líquida (b_n) de cada elemento da seção (Equação 4).

$$A_e = C_t A_n \quad (3)$$

$$(A_n) \text{seção} = \sum_{i=1}^j (b_n t) \quad (4)$$

$$b_n = b_g - \sum d_h + \sum_{i=1}^n \frac{s_i^2}{4g_i} \quad (5)$$

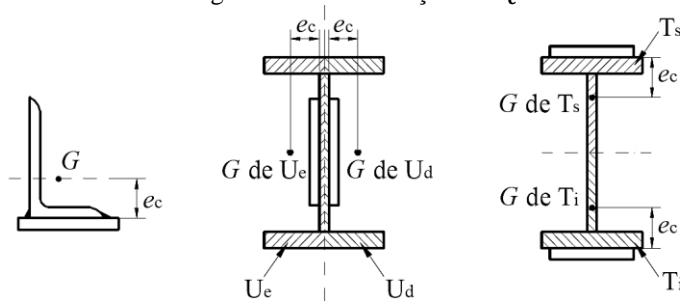
Onde f_y é a tensão de escoamento do aço, γ_{a1} é o coeficiente de ponderação da resistência para escoamento, igual a 1,10, f_u a tensão de ruptura do aço, γ_{a2} o coeficiente de ponderação da resistência para ruptura, igual a 1,35, C_t é o coeficiente de redução da área líquida, j é o número de elementos componentes da seção, b_g é a largura total da seção transversal, $\sum d_h$ é a soma dos diâmetros de todos os furos-padrões da linha de ruptura considerada, n é o número de segmentos diagonais, g é o espaçamento entre dois furos do segmento diagonal, na direção perpendicular à linha de atuação da força de tração, s é o espaçamento entre dois furos do segmento diagonal, na direção paralela à linha de atuação da força de tração e d_h é definido como sendo a soma do diâmetro do parafuso a 1,5 mm, para furos tipo padrão feito por broca, ou 3,5 mm, para aqueles feitos por punção.

Em casos onde a força de tração é transmitida para todos os elementos da seção transversal da barra, deve-se admitir C_t igual a 1. Quando a força de tração não for transmitida para todos os elementos da seção transversal da barra, C_t é calculado conforme a Equação 6.

$$C_t = 1 - \frac{e_c}{l_c} \quad (6)$$

Onde e_c é a excentricidade da ligação e l_c é o comprimento efetivo da ligação (Figura 2).

Figura 2 – Determinação de e_c



Fonte: ABNT NBR 8800:2008.

3.2 Temperatura elevada

Em contrapartida, em temperatura elevada considera-se apenas o estado-limite último de escoamento da seção bruta ($N_{fi,Rd}$), conforme Equação 7.

$$N_{fi,Rd} = k_{y,\theta} A_g f_y \quad (7)$$

Onde $k_{y,\theta}$ é o fator de redução da resistência ao escoamento, determinado conforme Tabela 1 presente na ABNT NBR 14323:2013.

3.3 Análise comparativa: tração

Diferentemente da verificação em temperatura ambiente, para temperatura elevada não há necessidade de determinação da área líquida efetiva (A_e) dos elementos tracionados, mas apenas da área transversal bruta (A_g) para cálculo da resistência.

4 BARRAS SUBMETIDAS AO ESFORÇO AXIAL DE COMPRESSÃO

4.1 Temperatura ambiente

Por se tratar de um elemento esbelto, se comparado às estruturas de concreto, as barras de aço quando sujeitas à compressão podem sofrer deslocamento lateral, caracterizando uma instabilidade global, como também os elementos que compõem sua seção transversal podem se mostrar instáveis, produzindo um efeito denominado flambagem local. Para garantia da segurança em elementos comprimidos, estes devem obedecer a Equação 8.

$$F_{c,Rd} = \frac{\chi Q A_g f_y}{\gamma_{a1}} \quad (8)$$

Onde χ é o fator adimensional de redução associado à instabilidade global (Equação 9 e 10) e Q é o fator de redução associado à flambagem local (Equação 16).

$$\lambda_o \leq 1,5; \quad \chi = 0,658^{\lambda_o^2} \quad (9)$$

$$\lambda_o > 1,5; \quad \chi = \frac{0,877}{\lambda_o^2} \quad (10)$$

Em que:

$$\lambda_o = \sqrt{\frac{Q A_g f_y}{N_e}} \quad (11)$$

$$N_e = \text{menor } (N_{ex}, N_{ey}, N_{ez}) \quad (12)$$

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 E I_x}{(K_x L_x)^2} \quad (13)$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 E I_y}{(K_y L_y)^2} \quad (14)$$

$$N_{ez} = \frac{1}{r_0^2} \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L_z)^2} + GJ \right] \quad (15)$$

$$Q = Q_a Q_s \quad (16)$$

As Equações 13, 14 e 15 devem ser utilizadas para seções com dupla simetria ou simétricas em relação a um ponto, onde: $K_x L_x$ é o comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo x, $K_y L_y$ é o comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo y, $K_z L_z$ é o comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo z, I_x é o momento de

inércia da seção transversal em relação ao eixo x, I_y é o momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo y, E é o módulo de elasticidade do aço, C_w é a constante de empenamento da seção transversal, G é o módulo de elasticidade transversal do aço, J é a constante de torção da seção transversal, r_0 é o raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de cisalhamento, Q_a é definido como coeficiente de redução relacionado a elementos AA e Q_s coeficiente de redução relacionado a elementos AL.

Em casos onde os elementos da seção analisada não ultrapassem a esbeltez limite ($b/t \leq (b/t)_{lim}$ (definido pela Tabela F.1 da ABNT NBR 8800:2008, Anexo F), seus respectivos coeficientes Q_a ou Q_s devem ser admitidos com sendo 1, caso contrário devem ser definidos conforme as Equações 17, 20 e 21.

$$Q_a = \frac{A_{ef}}{A_g} \quad (17)$$

$$A_{ef} = A_g - \sum (b - b_{ef}) t \quad (18)$$

$$b_{ef} = 1,92 t \sqrt{\frac{E}{\sigma_{máx}}} \left(1 - \frac{c_a}{b/t} \sqrt{\frac{E}{\sigma_{máx}}} \right) \leq b \quad (19)$$

c_a tomado como sendo 0,34 e de forma conservadora, $\sigma_{máx} = f_y$.

Os elementos AL, segundo a Tabela F.1 da ABNT NBR 800:2008, Anexo F, são classificados por grupos, de forma que, para os elementos pertencentes ao grupo 5, tem-se:

$$Q_s = 1,415 - 0,65 \frac{b}{t} \sqrt{\frac{f_y}{k_c E}}, \text{ para } 0,64 \sqrt{\frac{E}{(f_y/k_c)}} < \frac{b}{t} \leq 1,17 \sqrt{\frac{E}{(f_y/k_c)}} \quad (20)$$

$$Q_s = \frac{0,9 E k_c}{f_y \left(\frac{b}{t}\right)^2}, \text{ para } \frac{b}{t} > 1,17 \sqrt{\frac{E}{(f_y/k_c)}} \quad (21)$$

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}}, \text{ sendo } 0,35 \leq k_c \leq 0,76 \quad (22)$$

4.2 Temperatura elevada

Neste caso deve-se observar, inicialmente, a ocorrência ou não, de flambagem local dos elementos componentes da seção transversal, por meio da análise da esbeltez (Equação 23). Posteriormente determina-se a resistência a compressão para situação de incêndio (Equação 24 e 25), sendo $k_{\sigma,\theta}$ o fator de redução da resistência ao escoamento de seções sujeitas à flambagem local e determinado conforme Tabela 2, presente na ABNT NBR 14323:2013.

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{fi,lim} = 0,85 \left(\frac{b}{t}\right)_{lim} \quad (23)$$

$$N_{fi,Rd} = X_{fi} k_{\sigma,\theta} A_{efi} f_y, \text{ para } \left(\frac{b}{t}\right) > \left(\frac{b}{t}\right)_{fi,lim} \quad (24)$$

$$N_{fi,Rd} = X_{fi} k_{y\theta} A_g f_y, \text{ para } \left(\frac{b}{t}\right) \leq \left(\frac{b}{t}\right)_{fi,lim} \quad (25)$$

Em que:

$$A_{\text{efi}} = A_g Q \quad (26)$$

$$X_{\text{fi}} = \frac{1}{\varphi_{0,\text{fi}} + \sqrt{\varphi_{0,\text{fi}}^2 - \lambda_{0,\text{fi}}^2}} \quad (27)$$

$$\varphi_{0,\text{fi}} = 0,5(1 + \alpha \lambda_{0,\text{fi}} + \lambda_{0,\text{fi}}^2) \quad (28)$$

$$\alpha = 0,022 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (29)$$

$$\lambda_{0,\text{fi}} = \frac{\lambda_0}{0,85} \quad (30)$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q A_g f_y}{N_e}} \quad (31)$$

4.3 Análise comparativa: compressão

Para temperatura elevada, as esbeltezes da alma e da mesa são determinadas por meio da esbeltez limite obtidas da análise em temperatura ambiente, no que diz respeito à flambagem local, enquanto na flambagem global usa-se um novo parâmetro X_{fi} .

Todos os parâmetros (flambagem local e global) são multiplicados ou divididos pelo fator 0,85 para temperatura elevada.

5 BARRAS SUBMETIDAS A MOMENTO FLETOR

5.1 Temperatura ambiente

Definição dos estados-limites aplicáveis para seções I e H com dois eixos de simetria, fletidas em relação ao eixo de maior inércia.

5.1.1. Flambagem lateral com torção (FLT)

Nesta análise deve-se definir a esbeltez (λ) da barra, conforme Equação 32, onde L_b é o comprimento destravado e r_y o raio de giração em relação ao eixo central y. Como também a esbeltez inferior (λ_p) e superior (λ_r), como representado pelas Equações 33 e 34 respectivamente.

$$\lambda = \frac{L_b}{r_y} \quad (32)$$

$$\lambda_p = 1,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (33)$$

$$\lambda_r = \frac{1,38 \sqrt{I_y J}}{r_y J \beta_1} \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 C_w \beta_1^2}{I_y}}} \quad (34)$$

Tem-se que E é o módulo de elasticidade do aço, W o módulo de resistência elástico, Z_x módulo de resistência plástico em relação ao eixo x, I_y momento de inércia em relação ao eixo y, C_b o fator de modificação para diagrama de momento fletor não uniforme e admitindo tensão residual como sendo 30% da tensão de escoamento, define-se:

$$\beta_1 = \frac{0,7f_y W}{E J} \quad (35)$$

$$C_w = \frac{I_y (d - t_f)^2}{4} \quad (36)$$

$$M_{pl} = Z_x f_y \quad (37)$$

$$M_r = 0,7f_y W \quad (38)$$

$$M_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E I_y}{L_b^2} \sqrt{\frac{C_w}{I_y} \left(1 + 0,039 \frac{J L_b^2}{C_w} \right)} \quad (39)$$

$$\text{Para } \lambda \leq \lambda_p, \quad M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} \quad (40)$$

$$\text{Para } \lambda_p < \lambda \leq \lambda_r, \quad M_{Rd} = \frac{C_b}{\gamma_{a1}} \left[M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right] \leq \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} \quad (41)$$

$$\text{Para } \lambda > \lambda_r, \quad M_{Rd} = \frac{M_{cr}}{\gamma_{a1}} \quad (42)$$

5.1.2. Flambagem local da mesa (FLM)

Como determinado na Tabela F.1 da ABNT NBR 800:2008, Anexo F, em mesas de perfil I ou H, b é tido como sendo a metade de sua largura total, sendo assim. Tendo W_c como sendo o módulo de resistência elástico do lado comprimido da seção, relativo ao eixo de flexão, determina-se:

$$\lambda = \frac{b/2}{t} \quad (43)$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (44)$$

$$\text{Para perfis soldados: } \lambda_r = 0,95 \sqrt{\frac{E}{0,7 f_y / k_c}} \quad (45)$$

$$\text{Para perfis soldados: } M_{cr} = \frac{0,9 E k_c}{\lambda^2} W_c \quad (46)$$

$$\text{Para } \lambda_p < \lambda \leq \lambda_r, \quad M_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{a1}} \left[M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right] \quad (47)$$

$$\text{Para } \lambda > \lambda_r, \quad M_{Rd} = \frac{M_{cr}}{\gamma_{a1}} \quad (48)$$

Para os casos onde $\lambda \leq \lambda_p$, M_{Rd} deve ser definido conforme Equação 40.

5.1.3. Flambagem local da alma (FLA)

Sendo h a altura da alma do perfil, tem-se:

$$\text{Para perfis soldados: } \lambda = \frac{h}{t_w} \quad (49)$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (50)$$

$$\lambda_p = 5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (51)$$

$$M_r = f_y W \quad (52)$$

$$\text{Para } \lambda_p < \lambda \leq \lambda_r, \quad M_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{a1}} \left[M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right] \quad (53)$$

Para os casos onde $\lambda \leq \lambda_p$, M_{Rd} deve ser definido conforme Equação 40.

5.2 Temperatura elevada

Perfis com seção I ou H soldada com um ou dois eixos de simetria com $(H/t_w) > 4,84\sqrt{E/f_y}$ (alma esbelta), devem ser dimensionados conforme a ABNT NBR 8800:2008, anexo H, multiplicando-se a resistência ao escoamento, f_y por $k_{\sigma,\theta}$, e o módulo de elasticidade do aço, E , por $k_{E,\theta}$. Sendo $k_{E,\theta}$ o fator de redução do módulo de elasticidade determinado pela Tabela 1 da ABNT NBR 14323:2013.

Entretanto, caso $(h_w/t_w) \leq 4,84\sqrt{E/f_y}$ (alma não-esbelta), devem ser dimensionados conforme ABNT NBR 8800:2008, anexo G.

5.2.1. Limites aplicáveis à flambagem local

Sendo:

$k = 1$: vigas com 4 lados expostos ao fogo;

$k = 1,15$: viga envolvida por material de revestimento contra fogo, com três lados expostos, com uma laje de concreto ou laje com fôrma de aço incorporada no quarto lado;

$k = 1,40$: viga sem material de revestimento contra fogo, com três lados expostos, com uma laje de concreto ou laje com fôrma de aço incorporada no quarto lado.

Tendo W como sendo o módulo resistente elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão. Ao analisar a capacidade resistente da alma e mesa dos perfis, deve-se seguir o procedimento conforme Equações 54 a 59.

$$\lambda_{p,fi} = 0,85 \lambda_p \quad (54)$$

$$\lambda_{r,fi} = 0,85 \lambda_r \quad (55)$$

$$M_y = Wf_y \quad (56)$$

$$\text{Para } \lambda \leq \lambda_{p,fi}, \quad M_{fi,Rd} = k k_{y,\theta} M_{pl} \quad (57)$$

$$\text{Para } \lambda_{p,fi} \leq \lambda \leq \lambda_{r,fi}, \quad M_{fi,Rd} = k k_{y,\theta} M_y \quad (58)$$

$$\text{Para } \lambda > \lambda_{r,fi}, \quad M_{fi,Rd} = k k_{\sigma,\theta} M_y \text{ (exceto para FLA)} \quad (59)$$

5.2.2. Limites aplicáveis à flambagem lateral com torção

Sendo M_{cr} e M_{pl} definido pelas Equações 40 e 38, respectivamente, tem-se:

$$M_{fi,Rd} = k X_{fi} k_{y,\theta} M_{pl} \quad (60)$$

$$X_{fi} = \frac{1}{\varphi_{0,fi} + \sqrt{\varphi_{0,fi}^2 - \lambda_{0,fi,T}^2}} \quad (61)$$

$$\varphi_{0,fi} = 0,5(1 + \alpha \lambda_{0,fi,T} + \lambda_{0,fi,T}^2) \quad (62)$$

$$\lambda_{0,fi,T} = \sqrt{\frac{M_{pl}}{0,85 M_{cr}}} \quad (63)$$

5.3 Análise comparativa: flexão

Para análise da flambagem local em temperatura elevada, os parâmetros de esbeltez, definidos por meio de formulações em temperatura ambiente, são multiplicados pelo fator 0,85. Por sua vez, o momento resistente é multiplicado pelos fatores k e $k_{y,\theta}$, para placas espessas e espessas intermediárias, e por k e $k_{\sigma,\theta}$, para placas esbeltas.

Quanto à flambagem global, diferentemente da análise em temperatura ambiente (Equações 40, 41 e 42), em temperatura elevada restringe-se a uma única expressão, dada pela Equação 60.

6 EXEMPLO NUMÉRICO

Considera-se uma barra com o perfil VS 600x111 ($d=60\text{cm}$, $b_f=30\text{cm}$, $t_f=1,6\text{cm}$, $t_w=0,8\text{cm}$, $h=56,8\text{ cm}$, $A_g=141\text{cm}^2$, $I_x=94090\text{cm}^4$, $W_x=3136\text{cm}^3$, $r_x=25,8\text{cm}$, $Z_x=3448\text{cm}^3$, $I_y=7202\text{cm}^4$, $W_y=480\text{cm}^3$, $r_y=0,714\text{cm}$, $Z_y=728,1\text{cm}^3$), em aço USI CIVIL 300 ($f_y=30\text{kN/cm}^2$ e $f_u=40\text{kN/cm}^2$), com 3 metros de comprimento e considerando módulo de elasticidade (E) como sendo de 20000kN/cm^2 .

Esta teve sua resistência calculada quanto aos esforços de tração, compressão e flexão a temperatura ambiente, como também em temperatura elevada (temperatura da barra= 700°C) com os 4 lados expostos ao fogo, de forma a obtenção dos resultados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados encontrados do exercício proposto

	Temperatura ambiente	Temperatura elevada	Temp. elevada/Temp. ambiente (%)
Compressão (kN)	3050,21	338,99	11,11%
Flexão (kN.m)	934,74	214,78	22,98%
Tração (kN)	3845,45	972,9	25,30%

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo fez-se um estudo comparativo da resistência do elemento estrutural de aço em temperatura ambiente e em temperatura elevada, onde foram mostrados os procedimentos de dimensionamento para esses dois casos.

Apresentaram-se sequencialmente as equações das normas brasileiras referentes à temperatura ambiente e elevada, da seguinte forma: elementos submetidos à tração, à compressão e à flexão. Em cada caso, primeiro apresentam-se as equações à temperatura ambiente e, logo em seguida, à temperatura elevada, permitindo ao estudante visualizar a diferença entre elas.

Na Tabela 1 observou-se o forte efeito do fogo na resistência de um elemento estrutural. No exercício mostrado nessa tabela, para o elemento tracionado, houve redução de aproximadamente 75% da resistência; para o elemento flexionado a redução chegou a cerca de 80% e para o elemento comprimido, redução na resistência foi de 88,9%. Por motivos didáticos, no exemplo apresentado, adotou-se para temperatura elevada o valor de 700°C, porém o valor correto da temperatura atingida em incêndio deve ser obtido das normas ABNT NBR 14432:2001 e ABNT NBR 14323:2013.

No que diz respeito à verificação das ligações em temperatura elevada, a temperatura delas pode ser considerada, conservadoramente, igual a maior temperatura entre àquelas dos elementos estruturais conectados (item 8.5.4 da ABNT NBR 14323:2013).

Ressalta-se o valor didático deste artigo, pois mostra-se lado a lado a diferença dos valores das resistências em temperatura ambiente e em temperatura elevada, como também sua redução de resistência em caso de incêndio (exemplo numérico). É importante salientar que o tema “estruturas em temperatura elevada” não é abordado nos cursos de graduação, entretanto, para alguns tipos de edificações, o Corpo de Bombeiros exige projeto em temperatura elevada (ver normas de incêndio).

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq, CAPES e FAPES pelo apoio recebido para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e de concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14323**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14432**: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento. Rio de Janeiro, 2001.

DOMINGUES, H. M. B.. Museu Nacional resiste. Disponível em:
<http://cienciahoje.org.br/artigo/museu-nacional-resiste/>. Acesso em: 25 de abril de 2019.

FERREIRA, Walnório Graça; CORREIA, Elicarlos Vionet Scaramussa; AZEVEDO, Macksuel Soares. **Dimensionamento de estruturas de aço e mistas em situação de incêndio.** Vitória, ES: Grafer, 2006.

NETO, Augusto Badke; FERREIRA, Walnório Graça. **Dimensionamento de elementos de perfis de aço laminados e soldados.** Vitória, ES: GSS, 2016.

PAULUZE, T.. **Seis anos depois, incêndio na boate Kiss acumula vítimas entre os pais.** Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2019/01/seis-anos-depois-incendio-na-boate-kiss-acumula-vitimas-entre-os-pais.shtml>. Acesso em: 25 de abril de 2019.

VIEIRA, Luciano Lins; SANTOS, Juliana Cardoso; MENDES, Braulio Gonçalves; BEZERRA, Luciano Mendes; SILVA, Ramon Saleno Yure Rubim Costa. In: CILAMCE, 2016, Brasília – DF – Brasil. **Análise da resistência dos elementos de aço em situação de incêndio: um estudo comparativo entre a norma ABNR NBR 14323:2013 e sua versão de 1999.** Revista interdisciplinar de pesquisa em engenharia, 2016.

COMPARATIVE PEDAGOGICAL APPROACH OF STEEL STRUCTURES FOR NORMAL TEMPERATURE AND HIGH TEMPERATURE

Abstract: *The use of steel structures in civil construction, in many cases, means fast execution, project precision and losses reduction. In this way, teaching about its correct designed, for normal temperature, has been consolidated in universities. However, for high temperatures, the steel presents rigidity and mechanical resistance losses, may compromise the structure of which it's part. Therefore, this article introduces the comparative analysis of steel structures members resistance for normal temperature and for high temperature, subjects to tension, compression and bending stresses, presenting pedagogical importance, by helping students to learn how to calculate the resistance at high temperature, using as reference the calculations from the normal temperature. It should be emphasized that the correct steel structure design for high temperature it's of crucial importance, not only as a way to mitigate property losses, as to avoid tragedies with human losses.*

Key-words: Structures in a fire situation. Steel structures. Comparative analysis. Teaching.