

ESTUDO SOBRE FALHAS DEVIDO A TENSÕES DE FLEXÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS SOB ALTAS TEMPERATURAS E INCÊNDIO

Roberto Grandelle Ramos, robertograndelle@ufrj.br
José Márcio Vasconcellos, jmarcio@peno.coppe.ufrj.br

COPPE/UFRJ, Programa de Engenharia Naval e Oceânica, Centro de Tecnologia, Bloco I, Sala 205, LABECO

Resumo: *Sabe-se que o aço, amplamente empregado como material para construções, quando submetido a grandes variações de temperatura é acometido com tensões internas, perda de capacidade de suporte e perda relativa de elasticidade. Apesar de esta não ser a sua condição normal de uso é importante analisar e entender como se comportam estas estruturas em situações extremas e hostis como, por exemplo, um incêndio. Neste artigo é analisado o comportamento de um pórtico plano com três pilares e uma viga em uma situação de incêndio, com o objetivo principal de calcular as tensões causadas pela flexão da viga em diferentes temperaturas e determinar o risco que estas tensões somadas as ações térmicas podem trazer a tal estrutura. Para isto foi utilizado a ferramenta ANSYS que é um software que fornece uma simulação para engenharia e tem como princípio o método dos elementos finitos. Foi feito um modelo do pórtico utilizando o elemento finito "beam-3" com uma carga distribuída na viga, em seguida, aos poucos foram adicionadas as cargas térmicas, variando a temperatura. Finalmente calcula-se as tensões, os momentos fletores e as deformações de alguns pontos cruciais da estrutura.*

Palavras-chave: *tensão de flexão, estruturas metálicas, incêndio*

1. INTRODUÇÃO

Em uma situação de incêndio os danos causados pela a ação térmica podem comprometer uma estrutura de aço, e assim comprometer também, tudo o que está abrigado por ela. A importância de se construir estruturas que são confiáveis o suficiente para resistir a situações extremas, onde o ambiente se torna hostil, é evidente e a preocupação para alcançar este nível de segurança deve começar no projeto. Os objetivos primordiais da segurança contra o incêndio são minimizar o risco à vida humana e reduzir perdas patrimoniais.

Neste artigo não será analisada a parte técnica sobre segurança contra incêndios e as normas brasileiras sobre o assunto. Será analisado apenas o comportamento da estrutura em uma situação que simula um incêndio.

2. CONSIDERAÇÕES SOBRE A ESTRUTURA

Neste artigo, será utilizado como estudo de caso, um pórtico plano hiperestático formado por três pilares engastados na fundição e ligados rigidamente a uma viga. Para as análises apresentadas, será considerado que as seções planas de uma viga, tomadas normalmente ao seu eixo, permanecem planas após a viga ser submetida à flexão e as cargas térmicas. Além disso, todas as forças aplicadas serão consideradas sem a ocorrência de choque ou impacto, todas as vigas serão consideradas estáveis sob a ação das cargas aplicadas, serão também consideradas como simétricas em relação ao plano xy . Todas as cargas atuam no eixo xy e conseqüentemente a deflexão da viga ocorre neste mesmo plano, conhecido como plano de flexão. Considerou-se o uso de aço estrutural com módulo de elasticidade de 21 GPa, coeficiente de Poisson de 0,3 e limite de escoamento de 250 MPa (considerado aço carbono de média resistência – Centro Brasileiro de Construção em Aço).

O pórtico foi dimensionado à temperatura de 0 °C, com esforços solicitantes, reações de apoio e deslocamentos determinados a partir da combinação normal de ações, admitindo-se sempre linearidade geométrica (sem imperfeição inicial) e linearidade do material ($\sigma = E\epsilon$). O esquema está demonstrado na Fig. (1).

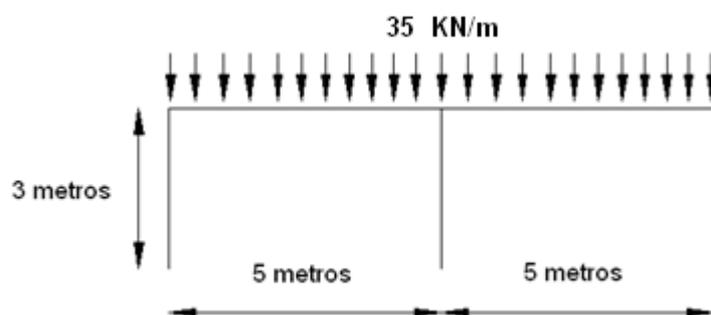


Figura 1 – Pórtico

O perfil metálico utilizado, representado na Fig. (2), tem as seguintes características: $h = 20$ cm; $b_f = 25$ cm; $t_f = 2,5$ cm; $t_w = 2,5$ cm.

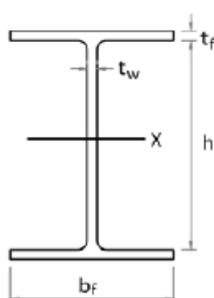


Figura 2 – Perfil I

2.1. Tensão de Flexão

Como qualquer outra viga, esta estudada no pórtico, submetida a uma carga distribuída irá se flexionar. Esta flexão vem acompanhada de tensões na área da seção transversal, levando uma região do corpo a contrair devido a compressão, enquanto outra região se alonga devido a tração, como mostrado na Fig. (3). Levando em conta todas as considerações citadas mais a cima seria preciso determinar estas tensões de flexão segundo a Eq. (1), onde σ é igual à tração ou compressão; M é igual ao momento fletor causado pelos esforços externos; y é a distância do ponto à linha neutra; e I é o momento de inércia da seção transversal.

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I} \quad (1)$$



Figura 3 - Viga flexionada

3. CONSIDERAÇÕES SOBRE O INCÊNDIO

O aumento da temperatura nos elementos estruturais causa redução da resistência, redução da rigidez e o aparecimento de esforços solicitantes adicionais nas estruturas hiperestáticas. Para este artigo, o incêndio foi simulado aumentando a temperatura passo a passo, ou seja, os resultados apresentados foram calculados para diferentes temperaturas em uma situação em que as vigas e os pilares do pórtico estão em equilíbrio térmico. Os gráficos abaixo, segundo Silva, V. P. 1997, demonstram a variação das propriedades do aço em relação à temperatura: o primeiro mostra a variação relativa do módulo de elasticidade e o segundo a diminuição relativa da resistência ao escoamento.

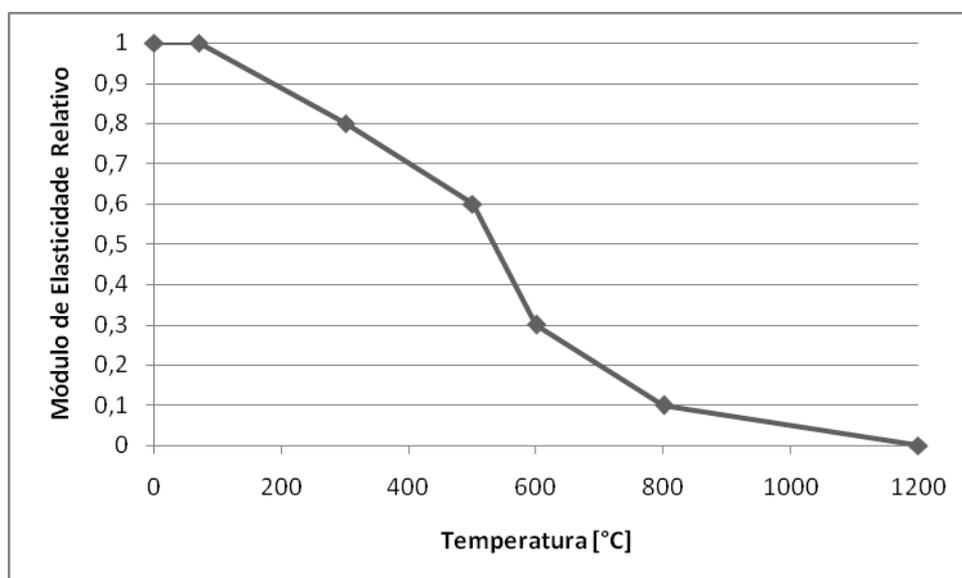


Figura 4 - Variação do módulo de elasticidade

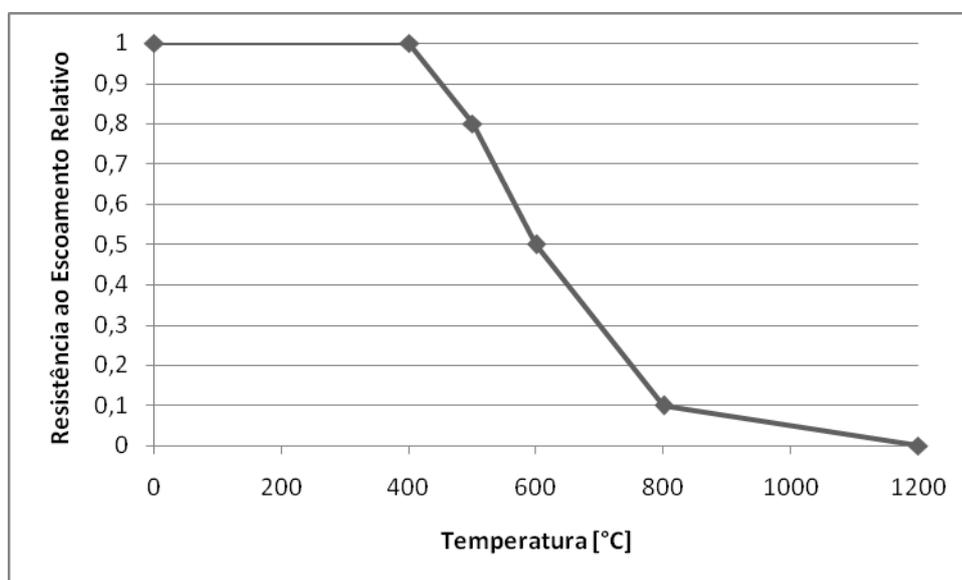


Figura 5 - Resistência ao escoamento

4. MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

O método dos elementos finitos é uma ferramenta de muita aplicação à engenharia. Este método é uma forma de resolução numérica de um sistema de derivadas parciais.

Com este método é possível analisar problemas dividindo-se e resolvendo-se o problema maior em pequenos elementos, e então concluir o comportamento do todo. De fato, trata-se de um método numérico que exige a resolução de grandes matrizes, quanto maior o número de elementos, maiores serão as matrizes.

A resolução de um problema através deste método exige a divisão do problema em elementos de geometria simples e com número de nós de acordo com a precisão requerida, a chamada "malha", em seguida são formuladas as matrizes

elementares, responsáveis pelas propriedades do material entre outros, e por último impõe-se as condições do problema, isto é, as cargas, deslocamentos, cargas térmicas etc.

Para este trabalho utilizou-se a ferramenta ANSYS 12.0 e o elemento finito beam3 que é um elemento uniaxial com capacidades de tração, compressão e flexão. Este elemento possui dois nós e cada um tem três graus de liberdade translação nas direções x e y do nó e rotação na direção z . A malha formada para esta análise é composta por 190 elementos de dez centímetros de comprimento.

5. RESULTADOS

Utilizando o ANSYS como descrito no item anterior, o pórtico da Fig. 1 foi analisado em temperaturas diferentes. Nesta seção analisaremos os resultados obtidos. As Figs. (6) a (10) mostram o aspecto deformado do pórtico nas temperaturas indicadas.

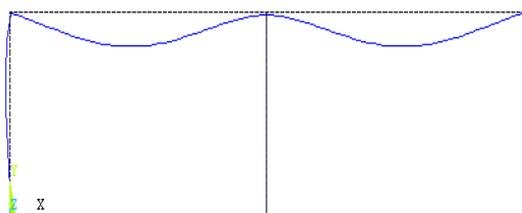


Figura 6 - Pórtico deformado a 0 °C

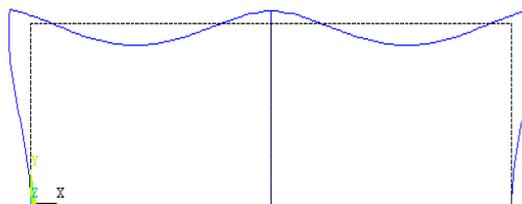


Figura 7 - Pórtico deformado a 300 °C

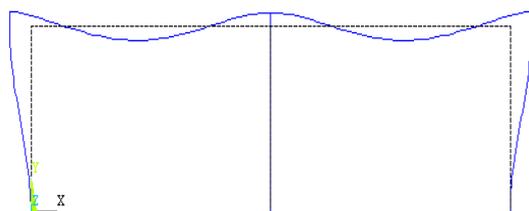


Figura 8 - Pórtico deformado a 500 °C

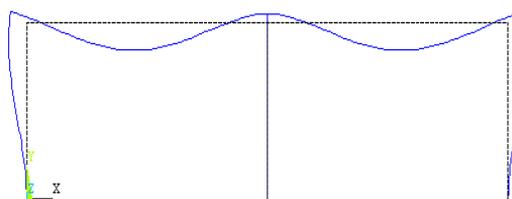


Figura 9 - Pórtico deformado a 600 °C

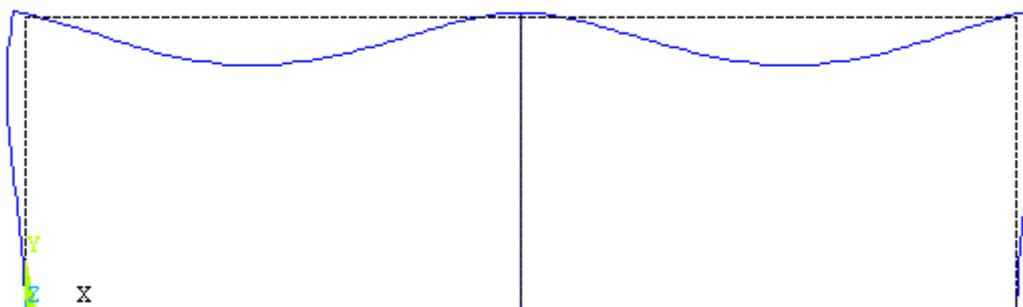


Figura 10 - Pórtico deformado a 800 °C

A Fig. (11) mostra o deslocamento vertical do topo dos pilares em função da temperatura. O deslocamento vertical é crescente e praticamente linear, devido à dilatação dos pilares.

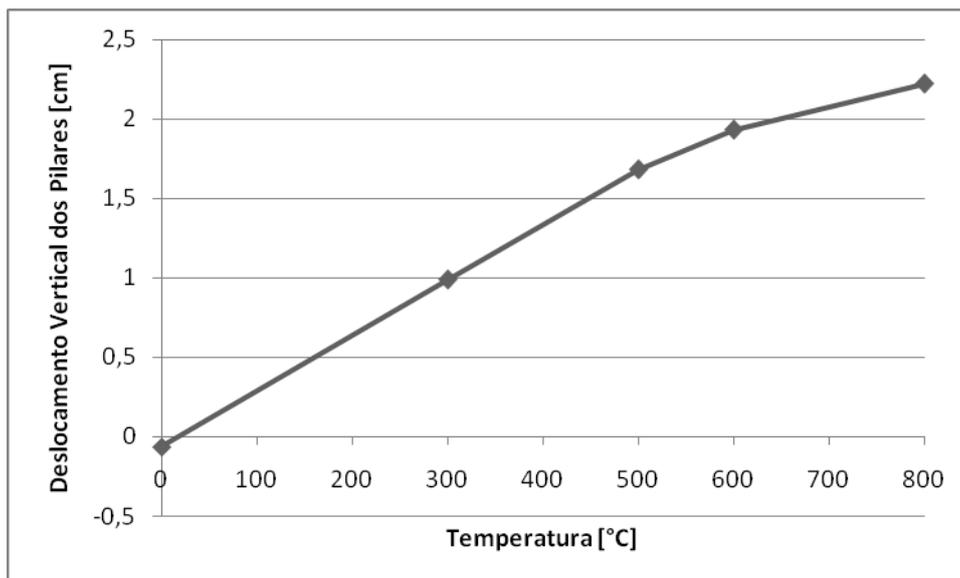


Figura 11 - Deslocamento Vertical dos Pilares

A partir dos gráficos abaixo, será possível perceber que a estrutura muda o seu comportamento a partir de certa temperatura, no caso desta análise seria uma temperatura próxima de 500 °C. A Fig. (12) mostra a variação do valor da reação horizontal do apoio do pilar esquerdo.

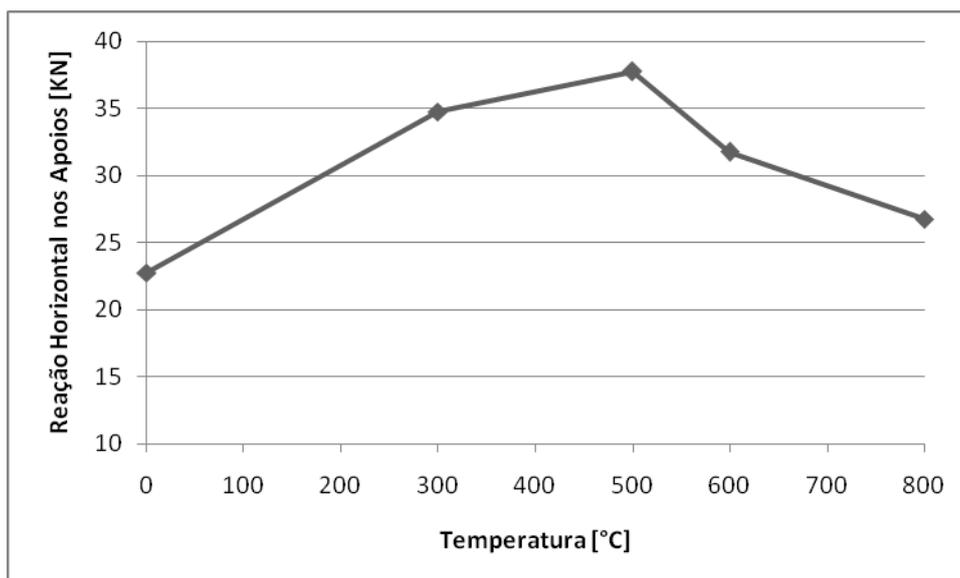


Figura 12 - Reação Horizontal nos Apoios

Na Fig. (13) será mostrada a flecha da viga em relação à temperatura. A variação da flecha é consistente com a deformação apresentada nas Figs. (6) a (10), sendo sempre negativa, mas quando a temperatura começa aumentar ela tem um caráter crescente, pois a dilatação dos pilares é maior do que a flexão causada pela carga distribuída, mas ao atingir uma temperatura ainda mais elevada a flecha decresce já que o módulo de elasticidade se torna muito pequeno, aumentando a flexão.

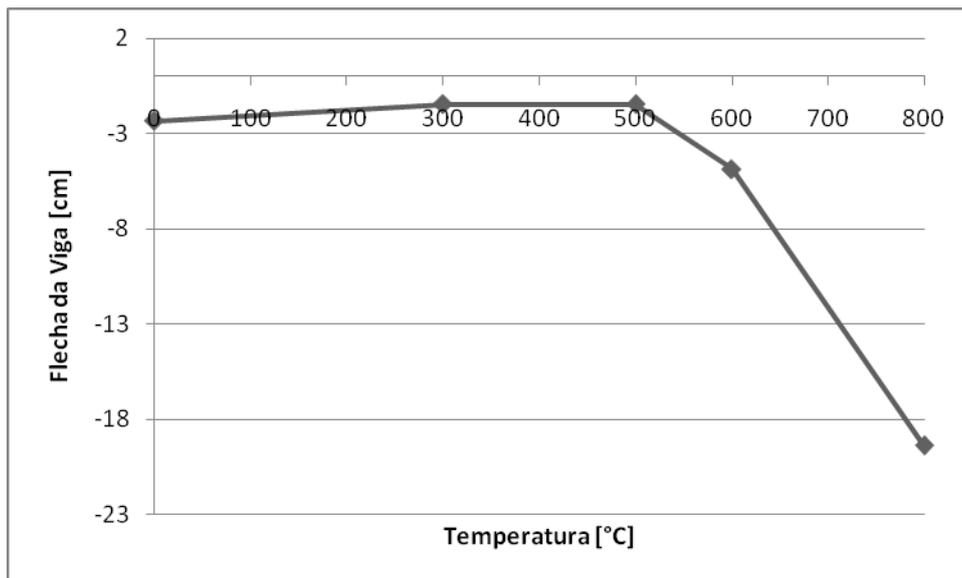


Figura 13 - Flecha da Viga

A Fig. (14) mostra a variação do momento fletor no nó superior esquerdo do pórtico. Pelos mesmos motivos já citados anteriormente, o momento fletor aumenta devido à dilatação da viga e depois decresce com a diminuição de rigidez do material.

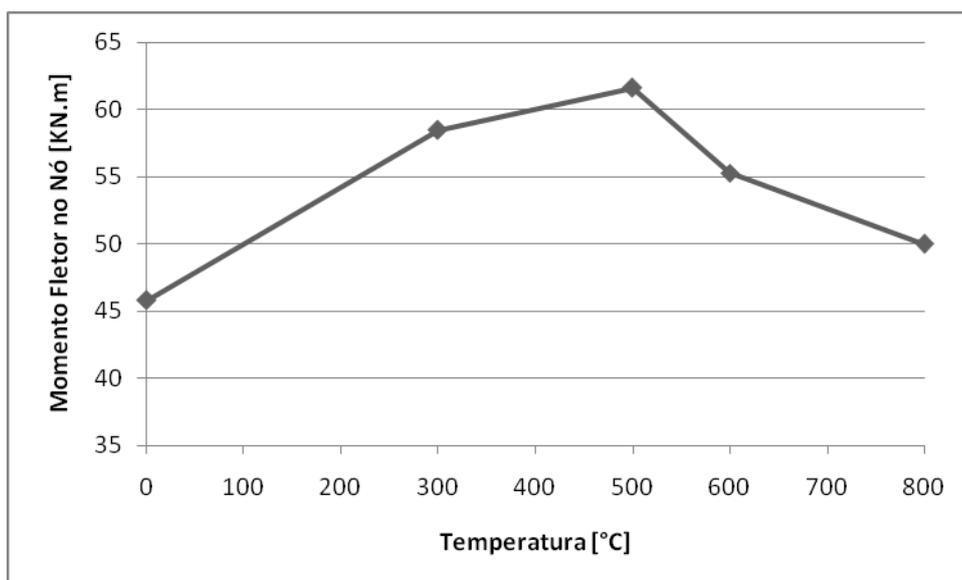


Figura 14 - Momento Fletor no Nó

O gráfico da variação do momento fletor máximo na viga em relação à temperatura é mostrado na Fig. (15), e ele se comporta de maneira contrária ao momento fletor no nó do pórtico, ou seja, quando um cresce o outro decresce.

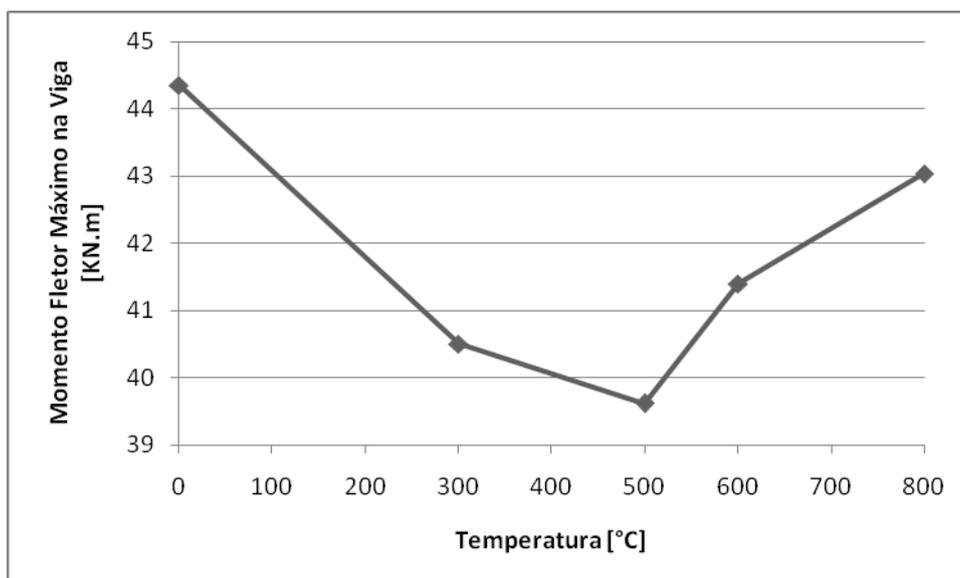


Figura 15 - Momento Fletor Máximo na Viga

O gráfico do momento fletor máximo na viga é necessário para calcular as tensões de flexão na viga. Utilizando a Eq. (1), citada anteriormente, podemos calcular estas tensões e comparar com a resistência ao escoamento do aço em altas temperaturas. Caso a tensão seja maior que a resistência se iniciará o processo de dobramento. Enquanto a flexão é associada à fase elástica da deformação de um material, o dobramento é associado à fase plástica, aparecem muitas vezes no processo de dobramento trincas, fissuras ou falhas na zona do material que é tensionada.

A Fig. (16) apresenta a tração de flexão máxima na viga do pórtico estudado.

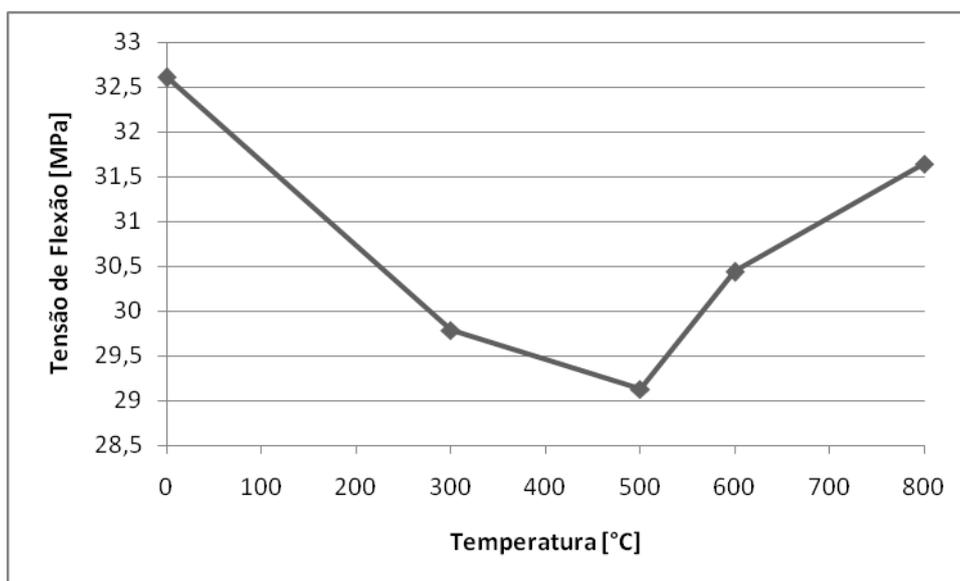


Figura 16 - Tensão de flexão

Na Fig. (17) estão representados os dados das Figs. (5), aplicados a um aço de resistência ao escoamento 250 MPa, e os dados da Fig. (16) no mesmo gráfico para um caráter comparativo.

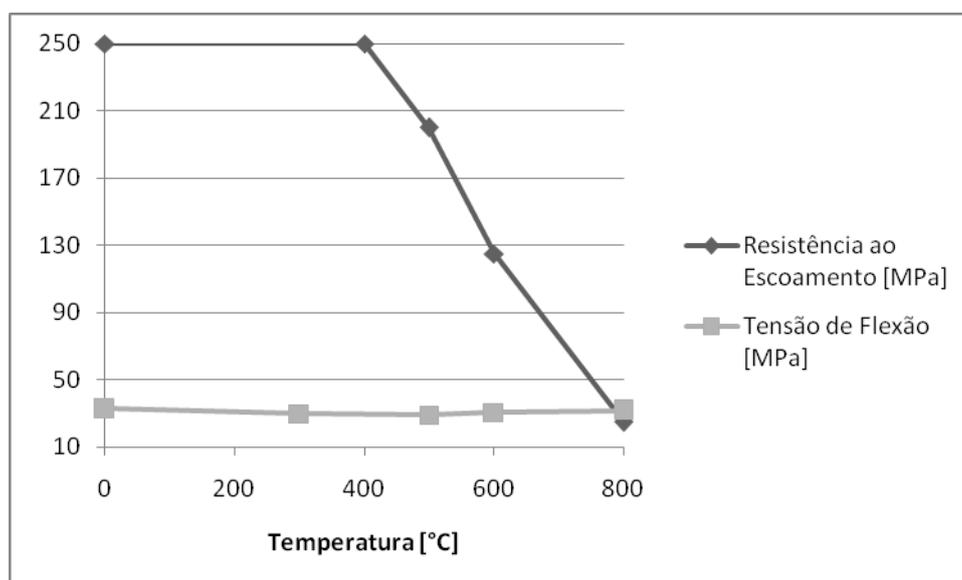


Figura 17 - Tensão de Flexão e Resistência ao Escoamento

Na Fig. (17) é mostrado que na temperatura de 800 °C a tensão de flexão é maior do que a viga pode resistir de escoamento, ou seja, haverá uma falha na estrutura antes desta temperatura. Porém, isso não significa necessariamente que ela irá colapsar, mas significa que os danos causados por essa simulação de incêndio comprometeriam o uso deste pórtico.

Podemos concluir, com estes resultados, que a estrutura tem dois comportamentos diferentes dependendo da temperatura, primeiramente a reação horizontal do apoio esquerdo, a flecha da viga e o momento fletor no nó superior esquerdo do pórtico são crescentes, mas depois de certa temperatura eles passam a ser decrescentes. Enquanto o momento fletor máximo da viga e consequentemente a tensão máxima de flexão inicialmente são decrescentes e depois passam a ser crescentes. Isso acontece, pois a partir desta temperatura, que neste caso seria entre 400 °C e 600 °C, a rigidez do aço se torna tão pequena que supera a tendência do comportamento do pórtico devido às dilatações dos seus componentes. Assim, pode ser observado que o pórtico deformado a 800 °C é o que tem características mais próximas do pórtico deformado a 0 °C, apesar dos deslocamentos dos nós e a flecha terem módulos bem maiores na última situação.

Outra conclusão que podemos tirar destes resultados é que apesar da tensão máxima de flexão ter uma variação superior a 3 MPa nas análises em diferentes temperaturas, o que realmente foi relevante para o comprometimento da estrutura foi a grande perda de resistência ao escoamento do material em altas temperaturas, já que a 800 °C ela chega a apenas 10% de resistência em condições normais.

6. CONCLUSÃO

Foi analisado neste artigo um pórtico plano submetido a um esforço transversal e a uma grande variação de temperatura, foram calculado utilizando ferramentas computacionais as principais forças, deformações e os momentos fletores gerados por este esforço e como estes se comportam de acordo com a variação da temperatura. Foram calculadas também as tensões máximas causadas pela flexão da viga e determinado que estas tensões foram o suficiente para causar grandes riscos à integridade da estrutura utilizada, já que o aço sofre grandes perdas de resistência em um incêndio.

Outro objetivo deste artigo foi expor a utilidade de ferramentas computacionais, através do método de elementos finitos para resolução de problemas de engenharia em geral.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Silva, V. P. Estruturas de Aço em Situações de Incêndio. Tese de doutorado apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 1997
- Callister, W. D. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. 5ed. LTC, São Paulo, 2002
- Crandall, S. H. and Dahl, N. C. An Introduction to the Mechanics of Solids, McGraw-Hill Book Company, New York, 1959
- Tutorial ANSYS 12.0
- CBCA, Manual de Construção em Aço, 2006

8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

STUDY OF FAILURE DUE TO BENDING STRESS IN STEEL STRUCTURES UNDER HIGH TEMPERATURE AND FIRE

Roberto Grandelle Ramos, robertograndelle@ufrj.br
José Márcio Vasconcellos, jmarcio@peno.coppe.ufrj.br

COPPE/UFRJ, Programa de Engenharia Naval e Oceânica, Centro de Tecnologia – Bloco I – Sala 205, LabECO

***Abstract:** It is known that steel, widely used as material for construction, when subject to large temperature variations are involved with internal tensions and relative loss of elasticity. Although this is not your normal condition of use is important to analyze and understand how these structures behave in extreme and hostile environment, for example, a fire. In this paper, we analyze the behavior of a steel frame with three pillars and a beam in a fire situation. With the main objective of calculating the stresses caused by bending of the beam at different temperatures and determine the risk that these stresses add up the thermal actions can bring such a structure. For this we used ANSYS which is software that provides a simulation for engineering and is based in the finite element method. One model of the frame was built using the finite element "beam-3" with a distributed load on the beam, then gradually were added thermal loads, varying the temperature. Finally it's possible to calculate the stresses and deformations of some crucial points of the structure.*

Keywords: stress due bending, steel structures, fire.