



Análise Térmica de Vigas Mistas Aço-Concreto em Situação de Incêndio

Mateus de Souza Furriel Dias¹, Vânia José Karam²

¹Uenf - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro / LECIV - Laboratório de Engenharia Civil / mateus.furriel@gmail.com

²Uenf - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro / LECIV - Laboratório de Engenharia Civil / vjkaram@uenf.br

Resumo

A utilização de proteção contra o fogo tem como objetivo reduzir a taxa de crescimento da temperatura de vigas mistas aço-concreto submetidas a situação de incêndio. Nesse sentido, a temperatura atingida por esse elemento estrutural é objeto de análise térmica. A norma NBR 14323 (ABNT, 2013) fornece soluções analíticas simples para estimar o aumento da temperatura da viga mista com e sem proteção térmica. Este trabalho apresenta uma análise térmica de vigas mistas de aço e concreto em situação de incêndio através da modelagem numérica bidimensional no *software* Abaqus Versão 6.14, que utiliza o Método dos Elementos Finitos, com o objetivo de examinar a evolução da temperatura da laje de concreto, da viga metálica e do conector de cisalhamento ao longo do tempo. Os perfis metálicos utilizados são do tipo I, conector “*stud bolt*” e os tipos de proteção térmica analisados são do tipo contorno e tipo caixa. Os resultados obtidos pelo método de cálculo simplificado e pela modelagem numérica foram comparados e mostraram que, para certo tipo de proteção e tempo de duração de incêndio, as temperaturas previstas pela Norma Brasileira podem diferir substancialmente daquelas obtidas pela simulação numérica. Foi observado que o fator de massividade do perfil, o tipo de proteção e a espessura da laje influenciam na velocidade de aquecimento e na temperatura máxima da seção transversal mista.

Palavras-chave

Vigas mistas aço-concreto; análise numérica; incêndio; proteção térmica.

Introdução

As vigas mistas aço-concreto, compostas por vigas de aço sob lajes de concreto, são elementos estruturais empregados em diversos tipos de edificações. Quando os materiais presentes nessas vigas mistas são submetidos a altas temperaturas, decorrentes de incêndio, apresentam variações em suas propriedades mecânicas e térmicas, comprometendo a capacidade do elemento estrutural de resistir às ações aplicadas. Diante disso, o meio mais comum de proteger um elemento do fogo é através da proteção passiva estrutural. Muitos estudos de caráter numérico de vigas mistas em situação de incêndio têm sido realizados. Dentre as ferramentas existentes para análise numérica, destacam-se pacotes computacionais específicos para estruturas em situação de incêndio e pacotes comerciais desenvolvidos com base no Método dos Elementos Finitos (MEF), os quais possibilitam reproduzir o comportamento de uma estrutura. O presente trabalho tem como objetivo realizar a análise térmica de vigas mistas aço-concreto em situação de incêndio com e sem revestimento térmico. Os resultados para análise são obtidos a partir da

elaboração de modelos numéricos através do programa comercial Abaqus Versão 6.14 (SIMULIA, 2014) e por meio do método simplificado de cálculo proposto pela norma NBR 14323 (ABNT, 2013).

Aspectos adotados nos modelos de vigas mistas aço-concreto

As vigas mistas utilizadas neste projeto são compostas por laje de concreto com face inferior plana, apoiada na mesa superior da viga de aço em perfil I, contendo ou não o conector de cisalhamento do tipo pino com cabeça (*stud bolt*). Nesta etapa, admita-se que parte do elemento estrutural se encontra totalmente imersa nas chamas do compartimento, ou seja, onde se localiza a viga e a parte inferior da laje, e que na parte superior da laje não há incêndio e o ar encontra-se à temperatura ambiente.

Os perfis metálicos utilizados são soldados tipo viga (Série VS) com dimensões especificadas pela norma NBR 5884 (ABNT, 2013). Na Figura 1 estão indicadas as partes e as nomenclaturas das dimensões das vigas mistas e na Tabela 1 estão listados os perfis escolhidos e as dimensões de cada um. Todas as lajes utilizadas nas vigas mistas possuem uma largura efetiva, L , igual a 1 m e uma altura, H , igual a 0,1 m. O conector utilizado, ilustrado na Figura 2, possui dimensões com base no conector M19 da Inox-Par.

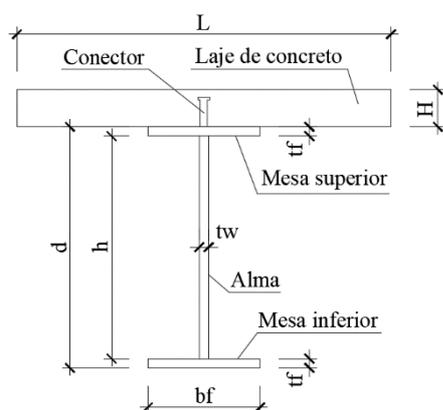


Figura 1 - Indicação das partes e nomenclaturas das dimensões da seção transversal da viga mista.

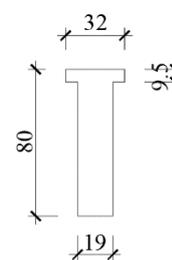


Figura 2 - Dimensões do conector *stud bolt*, em mm.

Tabela 1 - Perfis metálicos utilizados e suas dimensões, em mm.

Viga mista	Perfil	Altura		Alma		Mesas	
		d (mm)	tw (mm)	h (mm)	tf (mm)	bf (mm)	
1	VS 350 x 42	350	4,75	331	9,5	200	
2	VS 650 x 155	650	8	600	25	300	
3	VS 250 x 32	250	4,75	231	9,5	160	

Para este projeto, foram utilizados dois tipos de proteção térmica do perfil metálico, que são a proteção do tipo contorno, quando o material de revestimento contra fogo contorna o perímetro da seção transversal do elemento, e a proteção do tipo caixa, quando o material de revestimento envolve como caixa a seção transversal do elemento.

As vigas mistas são indicadas pelo seu número seguido por siglas de acordo com suas características, da seguinte forma: SPC (sem proteção térmica e com conector), SP

(sem proteção térmica e sem conector), CT (com proteção térmica tipo contorno e sem conector) e CX (com proteção térmica tipo caixa e sem conector).

Para a determinação da temperatura do elemento estrutural em situação de incêndio, pode ser usada a curva “temperatura x tempo” dos gases quentes, denominada incêndio-padrão, juntamente com o TRRF (tempo requerido de resistência ao fogo), conforme é mencionado nos itens 3.16 e 8 da norma NBR 14432 (ABNT, 2001), respectivamente.

Em todos os modelos, a emissividade resultante, ε_{res} , adotada para o aço, para o concreto e para o material de proteção, foi igual 0,7, valor prescrito na norma NBR 14323 (ABNT, 2013), apesar de a norma mencionar esse valor apenas para a emissividade resultante do aço. O coeficiente de transferência de calor por convecção, α_c , do lado exposto ao incêndio-padrão, foi tomado igual a $25 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, conforme prescrito pela norma NBR 14323 (ABNT, 2013). Em relação à laje de concreto, a troca de calor entre a superfície não exposta ao incêndio e o meio é considerada por intermédio de um coeficiente α_c igual a $9 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, conforme recomendações prescritas pelo EUROCODE 1 – Part 1.2 (2002). Em todos os casos analisados, a temperatura inicial adotada na seção transversal é de $20 \text{ }^\circ\text{C}$, conforme prescrito pela norma NBR 14323 (ABNT, 2013).

As propriedades dos materiais, como a massa específica, o calor específico, a condutividade térmica e a espessura, estão indicadas na Tabela 2. Foram utilizados valores simplificados das propriedades do aço e do concreto, que independem da temperatura, prescritos pela norma NBR 14323 (ABNT, 2013) e pela norma NBR 15200 (ABNT, 2012), respectivamente. As características do material de proteção térmica possuem valores semelhantes aos dos materiais comercializados atualmente.

Tabela 2 - Propriedades dos materiais aço, concreto e revestimento.

Propriedades térmicas	Material		
	Aço	Concreto	Proteção
Massa específica (kg/m^3)	7850	2400	320
Calor específico ($\text{J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$)	600	1000	1100
Condutividade térmica ($\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$)	45	1,30	0,135
Espessura (mm)	-	-	13

No modelo numérico da viga mista com proteção tipo caixa, foi considerado que o mecanismo de transmissão de calor que predomina no interior da cavidade seja apenas a condução de calor pelo ar, o que difere da norma NBR 14323 (ABNT, 2013), que despreza a existência do ar. Diante disso, foram utilizados valores das propriedades do ar de acordo com o trabalho de RIBEIRO (2004).

Metodologia de cálculo e modelagem numérica

Os modelos de cálculo utilizados para obtenção da evolução da temperatura na seção transversal da viga mista são: modelo simplificado de cálculo proposto pela norma NBR 14323 (ABNT, 2013) e modelo avançado de cálculo que se refere à resolução do problema através da simulação numérica por meio da utilização do código de cálculo Abaqus versão 6.14 (SIMULIA, 2014), desenvolvido com base no MEF.

O método simplificado de análise térmica proposto pela Norma Brasileira é aplicável aos elementos estruturais de aço com e sem material de proteção térmica, situados no interior da edificação. Para uma distribuição uniforme de temperatura na seção transversal, a elevação de temperatura do aço com e sem proteção contra incêndio durante um intervalo de tempo é determinada através das fórmulas apresentadas nos itens 8.5.1.1 e 8.5.1.2 da norma, respectivamente. Para o intervalo de tempo Δt , foi adotado o valor de 5 segundos em todos os casos analisados. Quando o perfil de aço não for envolvido por material de proteção contra incêndio ou possuir proteção tipo contorno, a distribuição de temperatura no mesmo deve ser tomada como não uniforme. Dessa forma, a seção transversal é dividida em três partes (mesa inferior, alma e mesa superior). Neste caso, considera-se que não ocorre transferência de calor entre estas partes e nem entre a mesa superior e a laje de concreto. Portanto, cada parte do perfil metálico tem seu próprio fator de massividade, que é a razão do perímetro exposto ao incêndio pela sua área de seção transversal. Para componentes de aço com proteção tipo caixa, uma temperatura uniforme pode ser considerada no perfil. Em relação a laje, considera-se que a distribuição de temperatura é constante ao longo da largura efetiva e da altura. A temperatura da laje é determinada através das fórmulas apresentadas no item A.2.2.5 da norma.

Na modelagem numérica dessas vigas mistas no Abaqus, foi considerado que há troca de calor entre as partes do perfil metálico e também entre a mesa superior e a laje. O pré-processador Abaqus/CAE consiste de uma interface gráfica que permite ao usuário uma rápida e eficiente definição da geometria e dimensões das vigas mistas, em que todas as partes foram definidas como elementos sólidos, homogêneos e bidimensionais. O elemento finito utilizado na discretização de toda a viga mista foi o DC2D4, um elemento quadrilateral de 4 nós para transferência de calor. É importante salientar que a malha de elementos foi criada de forma que um nó se localize exatamente na região onde se deseja determinar as temperaturas. Foi considerada uma fase de análise de 7200 segundos, para análise térmica transiente, com incremento de 60 segundos. Após isso, foram definidas as interações térmicas, como as condições de transferência de calor convectivo e emissividade resultante, entre a viga mista e os gases quentes e em temperatura ambiente; e entre o perfil metálico e a laje, e o material de proteção e o ar presente na proteção tipo caixa. Foi determinada a temperatura máxima dos gases igual a 1049 °C, respeitando a curva “temperatura x tempo” em incêndio e a constante de Stefan-Boltzmann, σ , igual a $5,67 \times 10^{-8} \text{ kW/m}^2 \cdot \text{K}^4$. Após todas essas etapas, ocorre o processamento do modelo que gera todos os resultados gráficos, observando o campo e a evolução da temperatura em qualquer tempo de duração de incêndio, além das curvas “temperatura x tempo” de qualquer nó especificado da seção transversal mista.

Resultados e discussões

Como resultado da análise térmica, observa-se o desenvolvimento e a distribuição do campo de temperaturas na seção transversal de toda a viga mista. Os resultados da análise foram divididos em quatro etapas: análise do comportamento térmico genérico, análise térmica comparada: Abaqus x NBR 14323, análise de vigas mistas sem material de proteção térmica e análise de vigas mistas com material de proteção térmica.

Análise do comportamento térmico genérico

Esta análise tem como objetivo descrever o comportamento térmico genérico em situação de incêndio da viga mista 1 (SPC), realizada no Abaqus (SIMULIA, 2014), através do campo de temperaturas, cujo resultado é apresentado na Figura 3. Com isso, é possível observar a distribuição da temperatura em toda a seção transversal, no tempo de 120 minutos de incêndio.

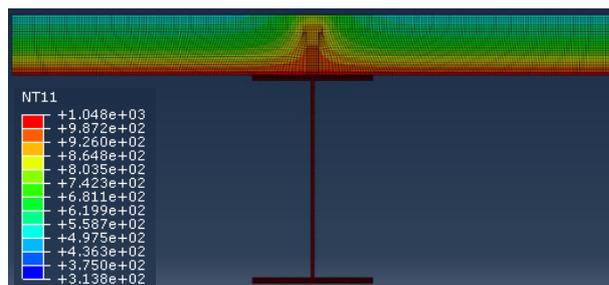


Figura 3 - Campo de temperaturas da viga mista 1 (SPC) em 120 minutos.

É possível analisar o campo térmico com os valores exatos de temperatura em determinados pontos, como mostra a Figura 4, durante os tempos de 30, 60, 90 e 120 minutos de duração do incêndio.

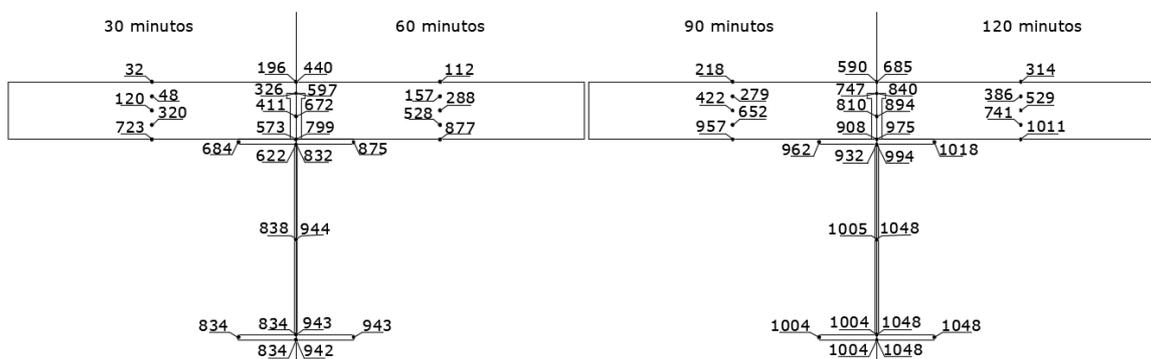


Figura 4 - Distribuição das temperaturas (°C) na viga mista 1 (SPC) para os TRRF de 30, 60, 90 e 120 minutos.

Pode-se observar, através do gradiente de temperaturas da Figura 3, que as cores variam do azul ao vermelho, representando, respectivamente, as baixas e as altas temperaturas. Analisando esse gradiente em conjunto com os valores de temperatura da Figura 4, verifica-se que o campo de temperaturas na laje de concreto é uniforme ao longo da largura efetiva, exceto na região que contém o conector, devido à diferença de condutividade térmica entre o aço e o concreto. A temperatura na laje é maior na superfície exposta ao incêndio e diminui à medida que se aproxima da superfície em contato com a temperatura ambiente. Em relação ao perfil metálico, a temperatura mínima está na mesa superior, pois parte de sua superfície é protegida pela laje, enquanto que a máxima se apresenta na alma. A mesa inferior tem, em toda sua região, uma mesma temperatura para um determinado tempo de incêndio. Observa-se que o perfil metálico apresenta as maiores temperaturas da seção mista. O conector não possui uma temperatura uniforme, mas que diminui ao longo de sua altura.

Uma análise sem o conector resultou na temperatura máxima da mesa superior no seu centro de gravidade. A observação do comportamento térmico dessa análise permite considerar que as regiões de temperatura máxima das partes da seção mista são o centro de gravidade das mesas e da alma, a base do conector e a superfície da laje em contato com o fogo.

Análise térmica comparada: Abaqus x NBR 14323

O objetivo desta análise é comparar os resultados obtidos pela modelagem numérica utilizando o Abaqus (SIMULIA, 2014) com o método simplificado proposto pela norma NBR 14323 (ABNT, 2013). Na Figura 5, estão representadas as curvas “temperatura x tempo” obtidas com os resultados dos dois métodos de cálculo em relação às partes da viga de aço, para o caso do perfil sem proteção térmica e com proteção tipo contorno e tipo caixa.

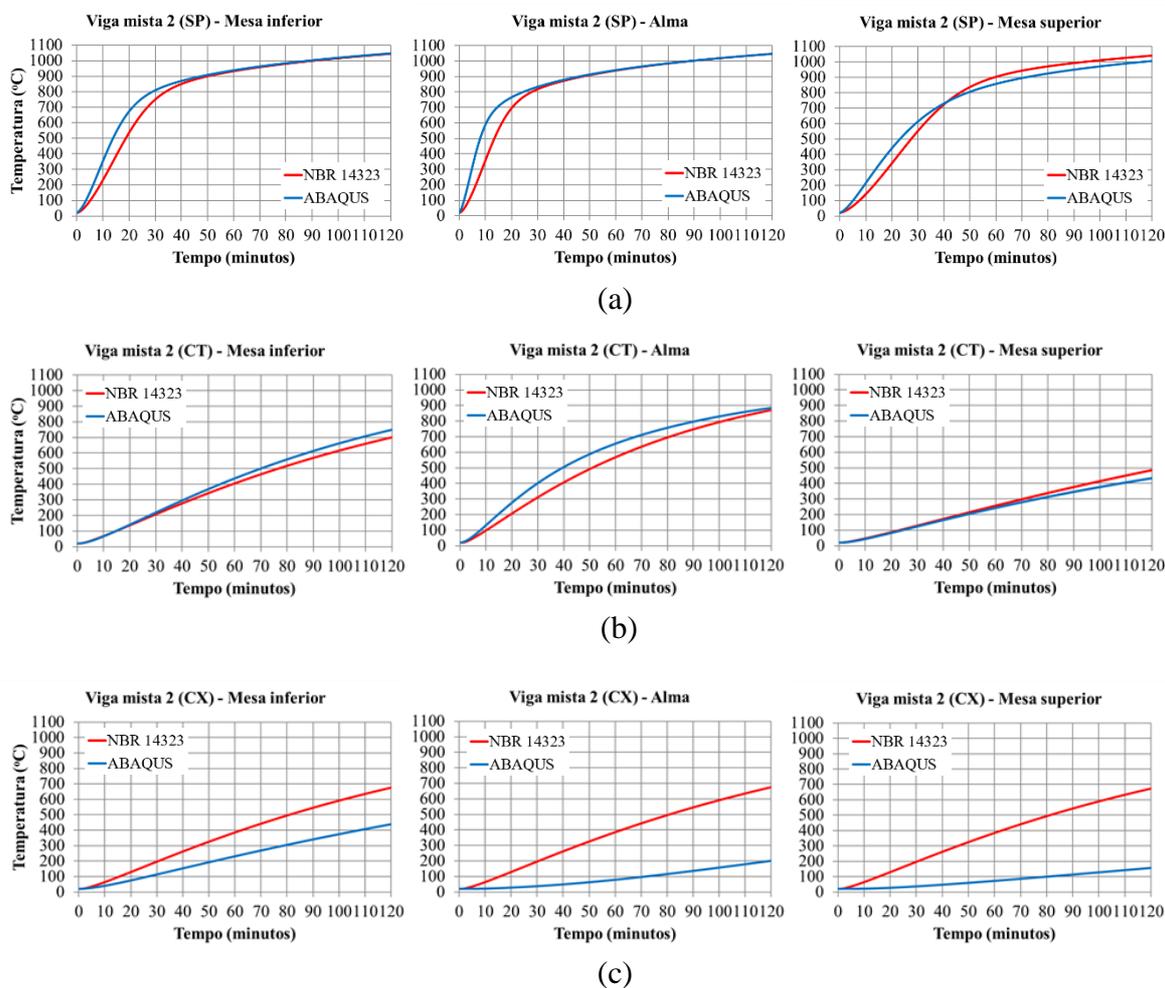


Figura 5 - Curvas “temperatura x tempo” obtidas pelo método da NBR 14323 e pelo Abaqus para o perfil da viga mista 2: (a) sem proteção, (b) com proteção tipo contorno e (c) com proteção tipo caixa.

Analisando os gráficos da Figura 5, são feitas as observações que se seguem.

Perfil sem proteção: Em relação à mesa inferior e à alma, a temperatura obtida pelo Abaqus é superior à temperatura obtida pela norma em torno dos primeiros 40 e 30 minutos, respectivamente. Após esses tempos, as duas curvas “temperatura x tempo” se igualam. Já em relação à mesa superior, a curva obtida pelo Abaqus é ligeiramente superior nos primeiros 40 minutos e, após esse tempo, a curva obtida pela norma se mantém mais elevada.

Perfil com proteção tipo contorno: As curvas “temperatura x tempo” da mesa inferior obtidas pelos dois métodos são muito próximas uma da outra, com a curva obtida pelo Abaqus um pouco mais elevada ao longo do tempo. A mesma proximidade ocorre na mesa superior; no entanto, a curva obtida pela norma se apresenta mais elevada ao longo do tempo. Na alma, há uma diferença mais evidente entre as curvas, sendo as temperaturas obtidas pelo Abaqus superiores às obtidas pela norma.

Perfil com proteção tipo caixa: Houve uma maior discrepância entre as curvas “temperatura x tempo” nessa situação. A curva obtida pela norma é mais elevada que a curva obtida pelo Abaqus em todo o perfil e em todo tempo de incêndio. A diferença entre as curvas é menor na mesa inferior e maior na mesa superior.

Foi analisada, no Abaqus, a temperatura da laje em duas seções, sendo uma na região do conector (seção 1) e outra situada entre o conector e o fim da largura efetiva (seção 2). A Tabela 3 mostra essas temperaturas em quatro tempos de duração de incêndio.

Tabela 3 - Temperatura uniforme nas seções da laje de concreto.

Tempo (min)	Temperatura uniforme da laje (°C)						
	NBR	Abaqus - Seção 1			Abaqus - Seção 2		
		2 (SP)	2 (CT)	2 (CX)	2 (SP)	2 (CT)	2 (CX)
30	190	155	41	23	214	213	213
60	296	327	88	35	369	365	366
90	343	459	146	55	488	479	480
120	361	561	209	81	582	568	568

Para efeito de comparação, foram medidas, no Abaqus, temperaturas em fatias da laje e calculadas através da fórmula proposta pela norma. A seção 1 da laje possui temperaturas diferentes ao longo do tempo para cada situação em que o perfil metálico se encontra, apresentando temperaturas maiores quando não se utilizada proteção e temperaturas menores quando se utilizada proteção tipo caixa. A seção 2 possui a mesma temperatura em qualquer situação em que a viga mista se encontra. Essa seção, por apresentar as maiores temperaturas, é considerada a seção crítica da laje de concreto; logo, é a seção ideal para fazer comparação com os valores obtidos através da norma. Nessa seção da laje, a temperatura encontrada no Abaqus é superior à temperatura encontrada pela norma, e essa diferença é maior com um TRRF maior.

Uma diminuição da altura da laje de 10 cm para 7 cm resultou em um aumento da temperatura uniforme da laje pelos dois métodos de cálculo, porém, ainda com a temperatura obtida pelo Abaqus superior à temperatura obtida pela norma. A temperatura máxima atingida pela laje se manteve a mesma, enquanto a temperatura mínima é maior na nova situação.

Segundo a norma NBR 14323 (ABNT, 2013), a temperatura do conector pode ser considerada, conservadoramente, igual à maior temperatura entre aquelas dos elementos estruturais conectados. Na análise do conector da viga mista 1 (SPC), foram obtidas temperaturas inferiores, porém, próximas, às temperaturas da mesa superior.

Análise de vigas mistas sem material de proteção térmica

Esta seção tem como objetivo, através dos resultados do Abaqus, observar a elevação da temperatura da seção transversal mista em função do fator de massividade do perfil durante o tempo de exposição ao incêndio. Para esta análise, foram consideradas a viga mista 2 (SP), com perfil de dimensões maiores, e a viga mista 3 (SP), com perfil de dimensões menores.

A Tabela 4 mostra os valores dos fatores de massividade dos perfis metálicos, da mesa inferior e da alma das vigas mistas 2 e 3. Observa-se que o perfil de dimensões menores possui o maior fator de massividade, como também as suas partes.

Tabela 4 - Fator de massividade dos perfis, da alma e da mesa inferior das vigas mistas.

Viga mista	Fator de massividade (m^{-1})		
	Mesa inferior	Alma	Perfil metálico
2 (SP)	86	250	110
3 (SP)	220	421	235

A Figura 6 mostra as curvas “temperatura x tempo” da mesa inferior e da alma de cada perfil utilizado nesta análise, até o tempo de 40 minutos.

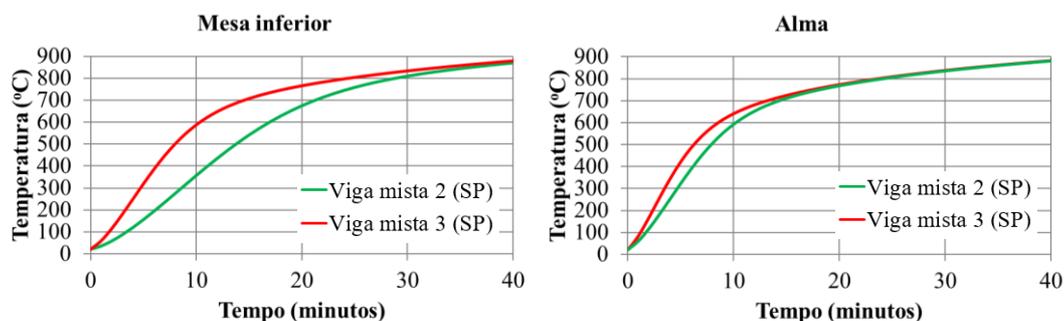


Figura 6 - Desenvolvimento da temperatura na mesa inferior e alma dos perfis metálicos até o TRRF de 40 minutos.

Os primeiros minutos de incêndio são os mais importantes, pois é quando ocorre um aumento mais rápido da temperatura do perfil. Na alma, após 10 minutos, a resposta térmica é praticamente a mesma para as duas vigas, enquanto na mesa inferior, a diferença de temperatura se mantém por mais tempo. As partes do perfil da viga mista 3 (SP), de maior fator de massividade, têm um aumento de temperatura mais elevado, diferente do que ocorre com o perfil da viga mista 2 (SP). Isso mostra que um perfil com maior fator de massividade apresentará a curva “temperatura x tempo” mais inclinada, indicando que ocorre uma elevação de temperatura mais rápida. Em relação à laje, na seção 1, as maiores temperaturas ocorrem na viga mista 3 (SP), com perfil de menor comprimento da mesa superior. As temperaturas da seção 2 são iguais para os dois perfis, mostrando que o tamanho do perfil não influencia na temperatura máxima atingida pela laje.

Análise de vigas mistas com material de proteção térmica

Esta análise tem como objetivo avaliar o desempenho térmico da viga mista revestida com material de proteção térmica e verificar qual dos dois tipos de proteção passiva, contorno ou caixa, é o mais eficiente para retardar a elevação da temperatura na viga mista. Para essa análise, foi utilizado o Abaqus para a modelagem numérica da viga mista 2. Na Figura 7, se encontram as curvas “temperatura x tempo” das partes do perfil metálico sem proteção, com proteção tipo contorno e tipo caixa.

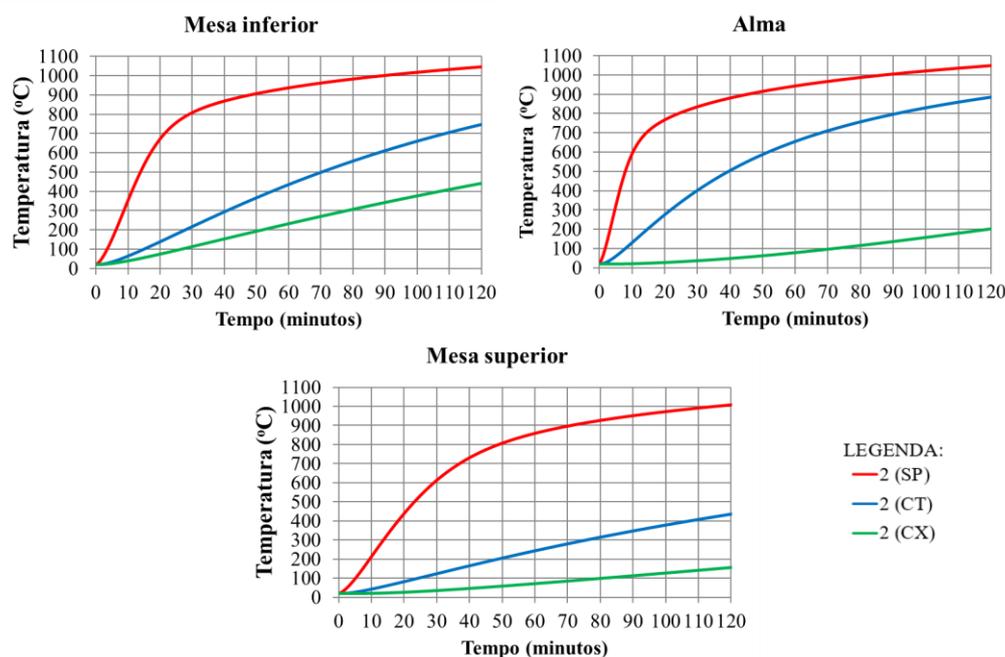


Figura 7 - Desenvolvimento da temperatura das partes do perfil da viga mista 2 com e sem proteção térmica durante o tempo de exposição ao incêndio.

O uso do material isolante impede um crescimento muito rápido da temperatura nos minutos iniciais, o que pode ser observado ao se comparar a inclinação das curvas “temperatura x tempo” do perfil com e sem proteção, e provoca uma diminuição da temperatura em todas as partes do perfil. Com proteção térmica do tipo contorno, a mesa superior apresentou uma queda de temperatura muito maior em relação à alma e à mesa inferior. A proteção térmica do tipo caixa apresenta a maior eficiência térmica pois garante a superfície atingida pelo fogo afastada em grande parte do perfil metálico. Com essa proteção, a temperatura mais elevada se encontra na mesa inferior, enquanto na alma a temperatura é ligeiramente maior que a temperatura da mesa superior.

Uma análise foi feita alterando, individualmente, cada propriedade do material de proteção térmica e seus resultados foram comparados com os resultados da viga mista com material sem alterações nas propriedades. As situações analisadas tinham uma propriedade com aumento de 20% de seu valor. Observou-se que, quando o valor da condutividade térmica aumenta, a curva “temperatura x tempo” em todas as partes do perfil é ligeiramente mais elevada, diferentemente das outras situações, quando a temperatura do perfil tende a diminuir com o aumento das propriedades. A diminuição de temperatura mais significativa ocorreu quando houve uma variação na espessura da

proteção. Com o aumento da massa específica e do calor específico, as curvas são muito semelhantes à curva de referência, em todas as partes do perfil.

Conclusões

Através da análise do comportamento das vigas consideradas, de um modo geral, pode ser observado que a temperatura de todo o sistema misto é crescente com o tempo. No entanto, cada parte da viga mista apresentou um campo de temperaturas não uniforme.

Na comparação entre os dois métodos de cálculo, foi visto que, em todas as partes do perfil com e sem proteção, a curva “temperatura x tempo” obtida através do Abaqus tem a mesma tendência da curva obtida através da norma NBR 14323 (ABNT, 2013). No entanto, há uma diferença maior nas vigas com proteção tipo caixa. Em relação à laje, foram observadas menores temperaturas na região em que se situa o conector quando se utiliza alguma proteção térmica. Já a seção crítica possui as mesmas temperaturas independentemente da presença de proteção e são superiores às temperaturas obtidas pela norma.

Na análise de vigas mistas sem material de proteção térmica, foi mostrado que o índice de aumento de temperatura do perfil de aço em incêndio é proporcional ao seu fator de massividade e que o tamanho do perfil metálico influencia a temperatura da laje somente na região do conector.

Pela análise de vigas mistas com material de proteção térmica, ficou evidente que os dois tipos de proteção térmica são eficientes para retardar o acesso do calor ao aço, principalmente no caso da proteção tipo caixa. Com o objetivo de ter as menores temperaturas no aço, o ideal é utilizar materiais isolantes com maiores valores de massa específica, calor específico e espessura, com exceção da condutividade térmica. No entanto, uma massa específica maior provoca um aumento do peso da estrutura e um aumento da espessura pode gerar um custo maior de material.

Referências

- SIMULIA. Abaqus. Software Documentation, Versão 6.14, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 5884 – Perfil I estrutural de aço soldado por arco elétrico - Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 14323 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio – Procedimento. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 14432 – Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento. Rio de Janeiro, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 15200 – Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. Rio de Janeiro, 2012.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. “Actions on structures. General actions - Actions on structures exposed to fire” (Part 1.2). Eurocode 1 – ENV 1991-1-2. Bruxelas, 2002.
- RIBEIRO, J.C.L. (2004). Simulação via método dos elementos finitos da distribuição tridimensional de temperatura em estruturas em situação de incêndio. 1v. 178p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais.