



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

Segurança estrutural de habitações de interesse social em situação de incêndio: análise normativa dos sistemas estruturais mais utilizados no Brasil

**Gabriela Dalfollo Brackmann¹, Jakelyne dos Santos Rocha²,
Luciana de Oliveira-Cruz Schäfer³, Rogério Cattelan Antochaves de Lima⁴**

¹ Universidade Federal de Santa Maria / Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil /
gabrielabrackmann@hotmail.com

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul / jakelyne.rocha@hotmail.com

³ Universidade Federal do Rio Grande do Sul / lucianaschafer.eng@gmail.com

⁴ Universidade Federal de Santa Maria / Departamento de Estruturas e Construção Civil / rogerio@ufsm.br

Resumo

Os sistemas estruturais mais utilizados em habitações de interesse social no Brasil são a alvenaria estrutural, as paredes de concreto e os perfis de aço formados a frio, sendo que, até o momento, não existem normas brasileiras que tratem da verificação desses sistemas em situação de incêndio. Assim, neste trabalho busca-se apresentar as opções de dimensionamento em situação de incêndio presentes na literatura e em normas internacionais para os sistemas estruturais mais utilizados nas habitações de interesse social no Brasil. Para o sistema em alvenaria estrutural pode-se adotar as recomendações do Eurocode 6. Para o sistema em paredes de concreto, existem os métodos do Eurocode 2 e o método proposto por Tavares e Nogueira (2016), que mescla as recomendações da ABNT NBR 16055:2012 e ABNT NBR 15200:2012. Ainda não existem normas específicas para a verificação de perfis de aço formados a frio em situação de incêndio; assim, foram abordadas quatro metodologias de verificação aproximadas, baseadas no dimensionamento em temperatura ambiente segundo as normas brasileira, americana e europeia, bem como um procedimento aproximado baseado na ABNT NBR 14323:2013. Dessa forma, fica evidente a existência de uma lacuna nas normativas brasileiras a respeito da verificação estrutural em situação de incêndio para os sistemas em alvenaria estrutural e paredes de concreto, e uma lacuna normativa internacional acerca da verificação de perfis de aço formados a frio. No primeiro caso, existem metodologias presentes na norma europeia que poderiam ser adaptadas à realidade brasileira, solucionando parte da lacuna normativa. Para a normatização da verificação em altas temperaturas dos perfis de aço formados a frio, ainda é necessário haver maior engajamento do meio técnico internacional, com vistas a desenvolver uma metodologia de verificação com resultados adequados e a favor da segurança.

Palavras-chave

Segurança estrutural; Habitações de interesse social; Sistemas construtivos, Segurança contra incêndio.



1. Introdução

Um dos principais problemas sociais a ser solucionado no Brasil é a questão do déficit habitacional e uma solução para essa questão é a criação de programas sociais visando a construção de moradias de baixo custo, também chamadas de habitações de interesse social. Segundo Rodrigues (2007), para o uso em programas de habitação popular, as moradias devem ter seu custo reduzido ao máximo, sem perda de segurança e funcionalidade, e que seja viável sua produção em série. A redução do custo de uma obra se dá principalmente pelo aumento da produtividade e, para isso, muitas vezes são empregadas técnicas construtivas diferentes das usuais na construção civil brasileira, a qual utiliza predominantemente o concreto armado. A utilização de novos materiais e sua crescente aplicação demandam conhecimento do comportamento destes frente ao fogo, assim como sua relação com a arquitetura a qual estão inseridos. Dessa forma, toda a evolução desse processo é diretamente proporcional à preocupação com a segurança dos ocupantes desses espaços, particularmente em situação de incêndio.

No contexto brasileiro, é inerente a avaliação entre tecnologia e problemática social através da análise de edifícios habitacionais de baixo custo. É necessário manter a estabilidade estrutural dessas edificações em situação de incêndio para, além de preservar vidas, preservar o patrimônio. A importância desse assunto se dá em um momento no qual se constata a frequente ocorrência de incêndios em conjuntos habitacionais. Os sistemas estruturais mais utilizados em edificações de interesse social no Brasil são a alvenaria estrutural, o sistema de paredes de concreto e os perfis de aço formados a frio. Apesar disso, esses sistemas ainda não possuem método de verificação em situação de incêndio previsto em normas brasileiras. Assim, o objetivo deste trabalho é analisar os critérios de dimensionamento em situação de incêndio disponíveis na literatura e em normativas internacionais para esses sistemas estruturais.

2. Comportamento dos materiais em situação de incêndio

Segundo Kaitila (2000), a consideração da distribuição da temperatura na estrutura é de suma importância, não apenas por causa da degradação das propriedades dos materiais em zonas aquecidas, mas também devido aos efeitos secundários causados pela dilatação térmica. Vigas e pilares aquecidos apenas de um lado normalmente desenvolvem um gradiente térmico ao longo da seção transversal que conduz à flambagem da viga ou pilar para o lado da fonte de calor, pois o lado mais quente do elemento está sujeito a uma dilatação térmica maior. A dilatação térmica global conduz ao surgimento de importantes esforços nas extremidades dos elementos e compartimentos estruturais adjacentes, que estão a uma temperatura mais baixa e que podem resistir à expansão das partes aquecidas. Isto causa momentos de primeira ordem adicionais e subsequentemente também momentos de segunda ordem no elemento. De acordo com Rodrigues (2007), o aumento desigual da temperatura e da variação das propriedades dos materiais que compõem os elementos estruturais adjacentes pode também provocar o colapso dos elementos de aço e das ligações, por exemplo, entre placas de gesso.

2.1 Comportamento do aço e do concreto sob temperaturas elevadas

Em situação de incêndio, a capacidade resistente do aço e do concreto diminui devido a degradação das suas propriedades mecânicas. Em temperaturas elevadas, ocorre a redução do módulo de elasticidade do aço e do concreto, bem como da resistência ao escoamento do aço e da resistência à compressão do concreto, os quais são aspectos que precisam ser considerados no dimensionamento das estruturas em situação de incêndio (FIGUEIREDO, 2014). Além disso, o concreto pode sofrer redução da área resistente, se este for suscetível à ocorrência do fenômeno conhecido como *spalling*. Esse fenômeno ocorre em concretos de porosidade fechada e refinada, submetidos a altas temperaturas, quando sua umidade interna é elevada, de forma que podem ocorrer rupturas explosivas do material, que resultam na perda gradativa das camadas externas, expondo as

camadas internas ao calor intenso, incluindo as barras de armaduras. Além disso, o concreto armado pode sofrer danos quando submetido a elevadas temperaturas devido às diferenças nas propriedades térmicas do aço e do concreto, que resultam em expansões diferenciadas entre os materiais e ocasionam o desenvolvimento de uma tendência a flambagem da armadura (KIRCHHOF, 2010).

A redução das propriedades mecânicas do aço e do concreto em altas temperaturas pode provocar o colapso prematuro de um elemento estrutural e causar a perda de vidas humanas. Para evitar o colapso, é feito o dimensionamento da estrutura para resistir à elevação da temperatura ou, como procedimento alternativo, adotam-se materiais de proteção contra o fogo para envolver os elementos estruturais. O objetivo dos vários métodos de proteção é retardar o calor transferido para o elemento estrutural, com vistas a aumentar o tempo de exposição ao incêndio, sem comprometer sua função estrutural (CALDAS, 2008). Esse objetivo é alcançado utilizando-se materiais isolantes, proteção (anteparo) contra as chamas e materiais que absorvem o calor (*heat sinks*). Para um mesmo intervalo de tempo, a temperatura média atingida por um elemento isolado de aço, em situação de incêndio, geralmente é maior do que para um elemento de concreto. Isto se deve a diversos fatores, dentre os quais pode-se citar a grande diferença de rigidez entre os materiais, que conduz a seções transversais menores para os elementos em aço, e também ao coeficiente de condutividade térmica do aço, que é superior ao do concreto. Assim, os materiais de proteção contra incêndio são bastante utilizados para proteger o aço, que é mais suscetível à elevação da temperatura devido a sua alta condutividade térmica. O concreto, por outro lado, apresenta um bom desempenho em situação de incêndio, sendo muito adotado como material de proteção devido a facilidade de obtenção.

2.2 Comportamento da alvenaria estrutural sob temperaturas elevadas

A alvenaria estrutural é composta por elementos de alvenaria (blocos cerâmicos ou de concreto), argamassa de assentamento, eventual armadura de aço e revestimento (acabamentos). A resistência ao fogo do sistema depende do comportamento em altas temperaturas de cada um desses materiais, isoladamente e em conjunto. Nacionalmente, a avaliação do comportamento da alvenaria estrutural em situação de incêndio ainda é incipiente, pois pouco se conhece sobre as propriedades termomecânicas dos materiais componentes da alvenaria estrutural. Da mesma forma, quando se avaliam resultados existentes sobre o comportamento de paredes de alvenaria em situação de incêndio, nota-se, além da baixa quantidade de resultados nacionais, a inexistência de resultados de paredes avaliadas sob carga (LEITE *et al.*, 2016).

No Brasil, salienta-se o trabalho de Rosemann (2011), que ensaiou paredes de alvenaria cerâmica quanto ao isolamento térmico, não carregadas, alternando a presença de revestimentos de argamassa e o preenchimento dos vazios com areia. O autor constatou que as paredes sem revestimento e sem preenchimento apresentaram resistência ao fogo de 106 minutos. Com a aplicação de revestimento de argamassa nas faces da parede, obteve-se um aumento de 80% na resistência ao fogo e, com o preenchimento com areia nos principais vazios dos blocos, o acréscimo verificado foi de 100%. Concluiu-se que o emprego de revestimentos nas faces e o preenchimento dos vazios com areia representam boas alternativas, a um custo relativamente baixo, para aumentar a resistência ao fogo de paredes de alvenaria cerâmica.

Em outra pesquisa nacional, Rigão (2012) ensaiou pequenas paredes carregadas de alvenaria cerâmica (com restrição de deslocamento na vertical), onde constatou-se que, em relação às argamassas, temperaturas de 900°C são suficientes para promover sua completa deterioração e que o tipo de agregado nela utilizado tem influência na perda de massa e estabilidade do material. Em relação as paredes, observou-se que houve, no transcorrer do ensaio, devido ao gradiente térmico e à restrição de deslocamento vertical imposta, um aumento de carga considerável. Também se verificou que, em todas as paredes, após 20 minutos do início do ensaio ocorreu o início do incremento de carga mencionado. Esse intervalo de tempo se deve ao fato que, durante o período inicial do ensaio, as temperaturas do meio da parede e de sua face não aquecida mantiveram-se praticamente inalteradas e, portanto, ainda não haviam tensões térmicas significativas na parede.



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

Internacionalmente, existem pesquisadores interessados em estudar o comportamento da alvenaria estrutural em situação de incêndio, ainda que poucos, quando comparados aos existentes para o aço ou para o concreto armado. Bailey (2004) afirma que o colapso de uma parede de alvenaria em situação de incêndio, quando ocorre, é geralmente devido aos carregamentos impostos pelas deformações das estruturas ou elementos estruturais adjacentes a ela. O autor ressalta que não se deve extrapolar os resultados de ensaios em paredes com menos de três metros de altura para paredes maiores, pois, neste último caso, seu deslocamento lateral a meia-altura cresceria devido ao efeito da curvatura térmica e, portanto, elas colapsariam antes de paredes com alturas menores ou iguais a três metros.

Nadjai *et al.* (2006) destacam que em elementos de compartimentação, como paredes de alvenaria, o fogo está geralmente em apenas um lado. A parede irá, portanto, curvar-se, devido à expansão térmica diferencial. Esse fato, juntamente com a degradação das propriedades dos materiais, que se inicia em seu lado exposto ao fogo, pode resultar no colapso estrutural da parede, que depende das condições de vinculação de seus apoios, da magnitude de carga nela aplicada e de sua geometria. Além disso, Nadjai *et al.* (2006) lembram que estruturas de grandes dimensões são raramente alvos de experimentos, por conta do custo e das limitações físicas dos equipamentos existentes (fornos). Portanto, há pouca evidência experimental relacionando a resistência ao fogo de elementos individuais (blocos ou prismas) à resistência ao fogo da parede.

Segundo Ingham (2009), sob temperaturas da ordem de 250°C a 300 °C, os danos às paredes de alvenaria ficam geralmente restritos às mudanças de coloração. Entretanto, com o aumento da temperatura, uma parede de alvenaria estrutural sofrerá uma redução progressiva de sua resistência à compressão por conta, principalmente, da deterioração da argamassa de assentamento. Sob temperaturas mais elevadas, entre 600°C e 800°C, a resistência à compressão da maioria das rochas e argamassas é seriamente comprometida. Além disso, Ingham (2009) alerta sobre o possível colapso das paredes de alvenaria estrutural durante o resfriamento com água, usual nas operações de combate ao incêndio. Ao se resfriar com água a alvenaria aquecida pelo fogo, o choque térmico e eventual contração do material pelo resfriamento fazem com que ocorra um intenso panorama de fissuração na parede, o que pode colaborar para o colapso.

Andreini e Sassu (2011) defendem o bom comportamento da alvenaria em situação de incêndio e atribuem grande parte do interesse pela construção em alvenaria à sua capacidade de isolar um ambiente, tanto do fogo em si quanto dos efeitos da fumaça (servindo, então, como paredes de compartimentação). Os autores ainda ressaltam o excelente comportamento, sob elevadas temperaturas, da argamassa de assentamento e de blocos de alvenaria feitos com argila ou concreto com agregados leves.

Nguyen e Meftah (2012) ensaiaram quatro paredes de alvenaria e chegaram a algumas conclusões gerais importantes: em paredes de espessura maior que 12-14 cm e estruturais, pode ocorrer lascamento explosivo, o qual não se propaga por toda a espessura da parede e, portanto, não interfere em sua resistência mecânica. O critério-chave para o dimensionamento da parede continuaria a ser o isolamento térmico. Em outro trabalho recente, Nguyen e Meftah (2014) ressaltam que modelos bidimensionais podem até simular satisfatoriamente o comportamento ao fogo de paredes de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos. Entretanto, em paredes onde o lascamento explosivo tem grande probabilidade de ocorrência, como é o caso de paredes estruturais feitas com blocos vazados, a ruptura local é um fator importante que governa o comportamento ao fogo da alvenaria e, portanto, não deve ser ignorada em simulações numéricas.

3. Dimensionamento em situação de incêndio

O dimensionamento de elementos estruturais de aço e mistos de aço-concreto em situação de incêndio segue as recomendações da ABNT NBR 14323:2013. A norma apresenta ferramentas para se determinar a temperatura nos elementos de aço, ao longo do tempo, em função da temperatura dos gases no ambiente em chamas e a variação das propriedades do aço com a temperatura. Além disso, fixa condições exigíveis para o dimensionamento de perfis laminados e soldados, vigas mistas, pilares mistos, lajes com fôrma de aço incorporada e de ligações parafusadas ou soldadas. Faz parte do seu escopo as estruturas projetadas segundo

a ABNT NBR 8800:2008 e a ABNT NBR 14762:2010. Para as estruturas de concreto, o dimensionamento em situação de incêndio segue as diretrizes da ABNT NBR 15200:2012, que abrange as estruturas projetadas conforme a ABNT NBR 6118:2014. Logo, excluem-se das diretrizes da ABNT NBR 15200:2012 o dimensionamento de paredes de concreto em situação de incêndio, que, em temperatura ambiente, segue a ABNT NBR 16055:2012.

Devido à necessidade de uma norma para determinação da ação térmica nos elementos construtivos dos edifícios, foi publicada a ABNT NBR 14432:2001, a qual apresenta critérios para a determinação do Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF). A legislação brasileira permite que algumas edificações, com área e altura limitadas, possam dispensar a verificação estrutural em situação de incêndio, pois apresentam baixo risco. Desse contexto, participam as edificações habitacionais de interesse social em sua maioria, que são compostos por apartamentos de pequena área e divididos por alvenarias de tijolos cerâmicos ou de blocos de concreto. Segundo Silva *et al.* (2007), a baixa carga de incêndio, a proteção parcial contra o fogo das estruturas e a compartimentação, ainda que imperfeita, permitem intuir que a segurança contra incêndios não é muito prejudicada nesses casos.

3.1 Alvenaria estrutural

O Brasil ainda carece de uma normativa técnica sobre o dimensionamento de alvenaria estrutural em situação de incêndio. Na inexistência de um código, o meio técnico, como referência, costuma ter por base algumas publicações tradicionais no setor. Pode-se citar, por exemplo, o Manual Técnico de Alvenaria (ASSOCIAÇÃO..., 1990), onde são apresentados resultados de alguns ensaios realizados em paredes de alvenaria estrutural segundo a ABNT NBR 5628:2001. A partir dos resultados obtidos, as paredes de alvenaria, executadas com diferentes blocos estruturais, foram categorizadas em corta-fogo (quando atenderam aos requisitos de resistência mecânica, estanqueidade e isolamento térmico), para-chamas (quando atenderam aos requisitos de resistência mecânica e estanqueidade) e estável ao fogo (quando atenderam apenas ao requisito de resistência mecânica). A Tabela 1 apresenta os valores divulgados na citada referência. Durante muito tempo, essa foi uma das únicas referências nacionais para a verificação da alvenaria estrutural em situação de incêndio.

Tabela 1 - Resistência ao fogo de blocos de concreto e cerâmico.

| Bloco | Espessura (cm) | Revestimento | Características | | |
|---------------------|----------------|---|-----------------|-------------|-----------------|
| | | | Corta-fogo | Para-chamas | Estável ao fogo |
| Concreto vedação | 19 | 2 cm de argamassa na face exposta ao fogo | 4 h | - | - |
| Concreto estrutural | 14 | - | 1 h | 4 h | 4 h |
| Cerâmico vedação | 9 | 1,5 cm em cada face | 1,5 h | 2 h | 2 h |
| Cerâmico estrutural | 14 | 3 mm de gesso na face exposta ao fogo | 2 h | 4 h | 4 h |
| Cerâmico estrutural | 14 | - | 1,5 h | 2 h | 2 h |
| Cerâmico estrutural | 14 | 1,5 cm em cada face | 2 h | 3 h | 3h |

Fonte: adaptado de (ASSOCIAÇÃO..., 1990).



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

Pode-se citar também o Manual de Desempenho para Alvenaria com Blocos de Concreto (ASSOCIAÇÃO..., 2019), que apresenta resultados de ensaios de resistência ao fogo de paredes de alvenaria com função estrutural e revestidas, com tamanho de amostra de 3,05 x 2,80 m, mantidas sob carregamento axial constante durante todo o programa de aquecimento. Nesse caso, concluiu-se que a parede apresentou resistência ao fogo no grau corta-fogo por 180 minutos. Outra referência nacional importante na verificação da alvenaria estrutural em situação de incêndio é a Instrução Técnica nº 08 (IT 08, 2019) que apresenta os resultados de alguns ensaios realizados em paredes de alvenaria, reproduzidos na Tabela 2.

Tabela 2 - Resistência ao fogo para alvenarias.

| Paredes ensaiadas | Espessura do revestimento (cm) | Duração do ensaio (min) | Tempo de atendimento aos critérios de resistência ao fogo (h) | | | |
|--------------------------------------|--------------------------------|-------------------------|---|---------------|--------------------|-----|
| | | | Integridade | Estanqueidade | Isolamento térmico | |
| Tijolos de barro cozido | Meio tijolo | 0 | 120 | ≥2 | ≥2 | 1,5 |
| | Um tijolo | 0 | 395 | ≥6 | ≥6 | ≥6 |
| | Meio tijolo | 2,5 | 300 | ≥4 | ≥4 | 4 |
| | Um tijolo | 2,5 | 300 | ≥6 | ≥6 | ≥5 |
| Blocos vazados de concreto (2 furos) | 14 cm | 0 | 100 | ≥1,5 | ≥1,5 | 1,5 |
| | 19 cm | 0 | 120 | ≥2 | ≥2 | 1,5 |
| | 14 cm | 1,5 | 150 | ≥2 | ≥2 | 2 |
| | 19 cm | 1,5 | 185 | ≥3 | ≥3 | 3 |
| Tijolos cerâmicos (8 furos) | Meio tijolo | 1,0 | 150 | ≥2 | ≥2 | 2 |
| | Um tijolo | 1,0 | 300 | ≥4 | ≥4 | ≥4 |

Fonte: adaptado da IT 08 (2019).

Com relação à falta de normatização nacional sobre o assunto, a IT 08 (2019) explica que, nesse caso, deve-se seguir as recomendações do Eurocode 6 ou de norma similar reconhecida internacionalmente. Entretanto, uma ressalva a essa recomendação é feita por Leite *et al.* (2016), que questionam a aplicabilidade de normas internacionais à realidade nacional, uma vez que a geometria de blocos pode variar entre países, e os materiais utilizados, tanto nos blocos quanto nos revestimentos, também apresentam divergências em relação às suas propriedades térmicas e mecânicas.

3.2 Paredes de concreto

No Brasil, a principal norma técnica relacionada à segurança de estruturas de concreto armado em situação de incêndio, a ABNT NBR 15200:2012, encontra-se ainda muito limitada, sendo necessária a utilização de normas internacionais, como o Eurocode 2. Uma dessas limitações é a falta de um modelo de dimensionamento para paredes e painéis verticais de concreto armado em situação de incêndio. Nesse sentido, a IT 08 (2019) apresenta os resultados de dois ensaios realizados em paredes de concreto armado monolítico e sem revestimento, reproduzidos na Tabela 3.

Na sequência serão apresentados dois métodos de dimensionamento de paredes de concreto em situação de incêndio: o método proposto por Tavares e Nogueira (2016), que mescla as recomendações da ABNT NBR 16055:2012 e ABNT NBR 15200:2012, e o método que consta no Eurocode 2.



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

Tabela 3 – Resistência ao fogo para paredes de concreto armado sem revestimento.

| Espessura da parede (cm) | Duração do ensaio (min) | Tempo de atendimento aos critérios de avaliação (horas) | | | Resistência ao fogo (horas) |
|--------------------------|-------------------------|---|---------------|--------------------|-----------------------------|
| | | Integridade | Estanqueidade | Isolamento térmico | |
| 11,5 | 150 | 2 | 2 | 1 | 1,5 |
| 16 | 210 | 3 | 3 | 3 | 3 |

Fonte: adaptado da IT 08 (2019).

3.2.1 Método proposto por Tavares e Nogueira (2016)

Esse método de verificação utiliza a metodologia das isotermas de 500°C, descrito pelo Eurocode 2 e pela ABNT NBR 15200:2012. O método consiste na redução da seção transversal do concreto, na qual a região da seção com temperaturas superiores a 500°C é desprezada, numa tentativa de simular a perda de resistência do concreto sem a utilização de coeficientes de redução. Para a seção residual de concreto, interna à isoterma de 500°C, considera-se que a resistência à compressão do concreto é a mesma do concreto à temperatura ambiente. Por outro lado, caso as armaduras fiquem fora da seção transversal residual, devem-se aplicar os coeficientes redutores da resistência do aço para a temperatura em questão, de forma a minorar a resistência do aço para a situação de incêndio. Caso a armadura fique interna à seção com temperaturas inferiores a 500°C, não se considera sua perda de resistência.

Para que esse método seja aplicado, a seção transversal do elemento em situação de incêndio deve possuir espessura mínima tal qual indicado na Tabela 4. Além disso, é necessário conhecer o perfil da temperatura ao longo da espessura do painel quando exposto ao incêndio em questão. Lim (2000) desenvolveu um modelo numérico que fornece o perfil de temperaturas de uma parede com 15 cm de espessura quando exposta a um incêndio padrão em uma de suas faces. Para outras espessuras, é necessário determinar a distribuição de temperatura com um modelo em elementos finitos.

Tabela 4 – Espessura mínima da seção transversal para aplicação do método das isotermas de 500°C.

| TRRF (min) | Espessura mínima (mm) |
|------------|-----------------------|
| 60 | 90 |
| 90 | 120 |
| 120 | 160 |
| 180 | 200 |
| 240 | 280 |

Fonte: Eurocode 2 (2004).

3.2.2. Método do Eurocode 2

Apesar de baseada no Eurocode 2, a ABNT NBR 15200:2012 não apresenta o método de dimensionamento de paredes de concreto armado em situação de incêndio que consta no eurocódigo. Trata-se de um método tabular bastante simplificado, que fornece apenas dimensões mínimas que a parede deve atender para a exposição a um incêndio padrão com diferentes durações. Essas dimensões são tabeladas de acordo com a forma de exposição ao fogo (em uma ou duas faces da parede) e de acordo com o grau de solicitação em situação de incêndio (μ_{fi}), obtido pelo quociente entre a carga axial de projeto em situação de incêndio e a resistência de projeto do elemento comprimido em temperatura ambiente. Além disso, o Eurocode 2 apresenta valores mínimos de espessura para paredes autoportantes de concreto, reproduzidas na Tabela 5, que são válidos apenas para paredes com índice de esbeltez menor que 40.



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

Tabela 5 – Dimensões mínimas para paredes autoportantes de concreto.

| Exposição a um incêndio padrão de | Dimensões mínimas (mm) | | | |
|-----------------------------------|--|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
| | Espessura da parede/distância do eixo da armadura para | | | |
| | $\mu_{fi} = 0,35$ | | $\mu_{fi} = 0,7$ | |
| | Exposição em uma face | Exposição em duas faces | Exposição em uma face | Exposição em duas faces |
| 30 min | 100/10 | 120/10 | 120/10 | 120/10 |
| 60 min | 110/10 | 120/10 | 130/10 | 140/10 |
| 90 min | 120/20 | 140/10 | 140/25 | 170/25 |
| 120 min | 150/25 | 160/25 | 160/35 | 220/35 |
| 180 min | 180/40 | 200/45 | 210/50 | 270/35 |
| 240 min | 230/55 | 250/55 | 270/60 | 350/60 |

Fonte: Eurocode 2 (2004).

3.3 Perfis de aço formados a frio

Os procedimentos simplificados de dimensionamento em situação de incêndio, tanto da ABNT NBR 14323:2013 como de outras normas estrangeiras são voltados especificamente aos perfis laminados e soldados. Aos perfis formados a frio (PFF), de forma aproximada, é adotado o mesmo procedimento, porém com os fatores de redução das propriedades mecânicas que são aplicáveis a todos os perfis sujeitos à instabilidade local. Salvo essa alternativa, é proposto também que o dimensionamento seja realizado mediante os métodos avançados, ou seja, por meio de análises em contexto experimental ou numérico.

Em Kaitila (2002) avaliou-se a possibilidade de se aplicar a mesma formulação de dimensionamento referente aos PFF à temperatura ambiente ao dimensionamento em temperaturas elevadas, sendo que, em geral, os valores obtidos pelo Eurocode 3 resultaram conservadores em relação ao resultado da análise numérica. Mendes (2004) propôs um método simplificado de dimensionamento de PFF em situação de incêndio, no qual a verificação dos PFF em situação de incêndio pode ser realizada seguindo a formulação da ABNT NBR 14762:2010, porém devem ser considerados os fatores de redução recomendados pelo Eurocode 3 e utilizado o valor da resistência ao escoamento correspondente a 0,2% da deformação total da barra.

Segundo Kimura (2014), além do Eurocode, outra alternativa é a verificação dos PFF por meio das especificações da norma americana AISI S100 (2007), considerando as devidas reduções nas propriedades mecânicas. Nesse sentido, o Método da Resistência Direta, inicialmente desenvolvido como um procedimento alternativo para verificação de PFF à temperatura ambiente, atualmente incorporado não só na citada norma americana, mas também na ABNT NBR 14762:2010, fornece resultados satisfatórios e, portanto, é considerado conveniente para ser aplicado nas verificações em temperaturas elevadas com as devidas alterações nas propriedades mecânicas.

Quanto aos materiais de revestimento de proteção contra o fogo para os PFF, Dubina *et al.* (2012) afirmam que, devido ao alto fator de massividade, até mesmo a cobertura intumescente não é adequada para oferecer proteção suficiente e garantir o tempo requerido de resistência ao fogo. Alguns tipos de proteção ainda não são recomendáveis para superfícies galvanizadas, típico nestes tipos de perfis, a exemplo das argamassas cimentícias e as coberturas a base de gesso. Dessa forma, a resistência ao fogo pode ser oferecida por outros materiais que compõem um sistema de revestimento, a base de materiais isolantes como lã de rocha, fibra cerâmica, entre outros.

4. Considerações finais

Os sistemas estruturais mais utilizados nas habitações de interesse social no Brasil são a alvenaria estrutural, as paredes de concreto e os perfis de aço formados a frio, sendo que, até o momento, não existem normas



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

nacionais que tratem da verificação em situação de incêndio desses sistemas. Assim, neste trabalho, buscou-se apresentar as opções de verificação em situação de incêndio presentes na literatura e em normas internacionais para esses sistemas estruturais. Para o sistema em alvenaria estrutural, foram apresentadas três fontes de dados experimentais obtidos em ensaios realizados no Brasil e o método de verificação que consta no Eurocode 6, o qual deve ser adotado com cautela devido às diferenças que podem ocorrer entre países com relação a geometria dos blocos e os materiais utilizados. Para o sistema em paredes de concreto, apresentou-se uma fonte de dados experimentais e dois métodos de verificação: o método do Eurocode 2 e o método proposto por Tavares e Nogueira (2016), que mescla as recomendações da ABNT NBR 16055:2012 e ABNT NBR 15200:2012.

Ainda não existem, a nível internacional, normas específicas para a verificação de perfis de aço formados a frio em situação de incêndio; assim, foram apresentadas quatro metodologias de verificação aproximadas, baseadas no dimensionamento dos PFF em temperatura ambiente segundo as normas brasileira, americana e europeia adaptadas para a verificação em altas temperaturas, bem como um procedimento aproximado baseado na ABNT NBR 14323:2013, utilizando a rotina de verificação para os perfis de aço laminados, adaptados para os PFF.

Este trabalho evidenciou a existência de uma lacuna nas normativas brasileiras a respeito da verificação estrutural em situação de incêndio para os sistemas em alvenaria estrutural e paredes de concreto, e uma lacuna normativa internacional acerca da verificação de perfis de aço formados a frio. No primeiro caso, existem metodologias presentes na norma europeia que poderiam ser adaptadas à realidade brasileira, solucionando parte da lacuna normativa. Para a normatização da verificação em altas temperaturas dos perfis de aço formados a frio, ainda é necessário haver maior engajamento do meio técnico internacional, com vistas a desenvolver uma metodologia de verificação com resultados coerentes e a favor da segurança.

Referências

- AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE. AISI S100-07: North American Specification for the design of Cold Formed Steel Structural Members. Washington, 2007.
- ANDREINI, M.; SASSU, M. Mechanical Behaviour of Full Unit Masonry Panels Under Fire Action. *Fire Safety Journal*, v. 46, n. 7, 2011, p. 440–450.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA. Manual Técnico de Alvenaria. São Paulo: Projeto Editores Associados, 1990.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE BLOCOS DE CONCRETO; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND; SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PRODUTOS DE CIMENTO. Manual de desempenho - Alvenaria com blocos de concreto: guia para atendimento à Norma ABNT 15575. São Paulo, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5628: Componentes construtivos estruturais – Determinação da resistência ao fogo. Rio de Janeiro, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.
- 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. 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 14762: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15200: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. Rio de Janeiro, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16055: Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações – Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2012.
- BAILEY, C. Structural Fire Design: core or specialist subject? *The Structural Engineer*, v. 82, n. 9, 2004, p. 32–38.



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

- CALDAS, R. B. Análise numérica de estruturas de aço, concreto e mistas em situação de incêndio. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008, 226p.
- DUBINA, D.; UNGUREANU, V.; LANDOLFO, R. Design of cold-formed steel structures: Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-3 - design of cold formed steel structures. First edition. Portugal. ECCS - European Convention for constructional Steel Work. Wiley - Black Well. 2012.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION – Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design. Brussels, 2004.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION – Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design. Brussels, 2005.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION – Eurocode 6: Design of masonry structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design. Brussels, 2005.
- FIGUEIREDO, A. P. Verificação de segurança de estruturas mistas aço-betão em situação de incêndio. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2014, 110p.
- INGHAM, J. Forensic Engineering of Fire-Damaged Structures. ICE, v. 162, 2009, p. 12-17.
- KAITILA, O. Cold-Formed Steel in Fire Conditions. Helsinki University of Technology - Laboratory of Steel Structures - TKK-TER-15, 2000.
- KAITILA, O. Imperfection sensitivity analysis of lipped channel columns at high temperatures. Journal of Constructional Steel Research, v. 58, n. 3, 2002, p.333-351.
- KIMURA, E. F. A. Comportamento estrutural de perfis formados a frio com seção transversal composta de U enrijecido em temperaturas elevadas. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2014, 176 p.
- KIRCHHOF, L. D. Estudo teórico-experimental da influência do teor de umidade no fenômeno de spalling explosivo em concretos expostos a elevadas temperaturas. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010, 237p.
- LEITE, H. A. L.; MORENO JÚNIOR, A. L.; TORRES, D. L. Dimensionamento da alvenaria estrutural em situação de incêndio: contribuição à futura normatização nacional. Ambiente Construído, v. 16, n. 2, 2016, p. 89-107.
- LIM, L. C. S. Stability of precast concrete tilt panels in fire. Fire Engineering Research Report 00/8. School of Engineering, University of Canterbury. Christchurch, New Zealand, 2000, 351 p.
- MENDES, C. L. Estudo teórico sobre perfis formados a frio em situação de incêndio. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2004, 160 p.
- NADJAI, A.; O’GARA, M.; ALI, F.; JURGEN, R. Compartment Masonry Walls in Fire Situations. Fire Technology, v. 42, n. 3, 2006, p. 211-231.
- NGUYEN, T. D.; MEFTAH, F. Behavior of Clay Hollow-Brick Masonry Walls During Fire: part 1: experimental analysis. Fire Safety Journal, v. 52, 2012, p. 55-64.
- NGUYEN, T. D.; MEFTAH, F. Behavior of Hollow Clay Brick Masonry Walls During Fire: part 2: 3D finite element modelling and spalling assessment. Fire Safety Journal, v. 66, 2014, p. 35-45.
- POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO – CORPO DE BOMBEIROS. Instrução técnica Nº 08 – Segurança estrutural contra incêndio. São Paulo, 2019, 11 p.
- ROSEMANN, F. Resistência ao Fogo de Paredes de Alvenaria Estrutural de Blocos Cerâmicos pelo Critério de Isolamento Térmico. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2011, 160 p.
- RODRIGUES, M. W. Comportamento e resistência de uma viga mista de aço e concreto em perfil formado a frio em temperatura elevada de uma edificação de baixo custo. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2007, 143 p.
- RIGÃO, A. O. Comportamento de Pequenas Paredes de Alvenaria Estrutural Frente a Altas Temperaturas. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria. São Maria, 2012, 142 p.
- SILVA, V. P.; RODRIGUES, F. C.; FAKURY, R. H.; PANNONI, F. D. Incêndio real em um apartamento de interesse social – um estudo de caso. Rem: Revista Escola de Minas, vol. 60, no. 2, abril-jun. Ouro Preto, 2007, p. 315-324.
- TAVARES, T. S.; NOGUEIRA, U. A. Análise de painéis de concreto armado em situação de incêndio. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2016, 147 p.