



PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO EM ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE AÇO

FIRE PROTECTION IN STEEL STRUCTURAL ELEMENTS

Thales Henrique Silva Costa *

* Autor correspondente. Engenheiro civil, Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Ceará. Atualmente atua como professor no Centro Universitário Ateneu. Email para contato: thaleshsc@outlook.com.

RESUMO

Dentre a série de ações que constituem a segurança contra incêndios, a resistência ao fogo dos elementos estruturais é peça chave para minimizar o risco à vida e reduzir as perdas patrimoniais. Para tanto, é necessário que a estrutura seja projetada para o Tempo Requerido de Resistência ao Fogo determinado pelas normas brasileiras. Por vezes a garantia desse tempo só é possível através do revestimento da estrutura. Este trabalho propõe-se a desenvolver uma revisão de literatura a respeito dos revestimentos usualmente aplicados em estruturas metálicas que garantam o TRRF necessário. A revisão de literatura tomou como base os trabalhos desenvolvidos pelo CBCA, bem como artigos nacionais e internacionais. O objeto de estudo foram as argamassas projetadas e as tintas intumescentes. Ambos os materiais são capazes de garantir TRRF superior a 120 minutos quando aplicados adequadamente. Normalmente a espessura aplicada, varia de 10 a 75 mm, para argamassas projetadas, e de 0,3 a 6,5 mm para as tintas intumescentes. Conclui-se que a seleção do material e da espessura a ser aplicada variam com o custo de aquisição, o preparo da mão de obra, o tipo de acabamento exigido e o TRRF requerido.

Palavras-chave: Tempo Requerido de Resistência ao Fogo. Sistemas de Combate a Incêndios. Proteção passiva.

ABSTRACT

Ensuring fire resistance in structural elements is crucial for minimizing risks to life and property during fire incidents. Compliance with Brazilian standards mandates designing structures to withstand the Required Fire Resistance Time (RFRT). Often, achieving this time frame necessitates the application of protective coatings. This paper presents a literature review on coatings commonly used to enhance the fire resistance of steel structures to meet RFRT requirements. The review draws from research conducted by CBCA and various national and international articles. The study focuses on sprayed mortars and intumescent paints, both capable of providing RFRT exceeding 120 minutes when applied correctly. Typically, the thickness varies from 10 to 75 mm for sprayed mortars and 0.3 to 6.5 mm for intumescent



paints. Selection of material and thickness depends on factors such as acquisition cost, labor preparation, desired finish, and RFRT requirements.

Keywords: Required Fire Resistance Time. Firefighting Systems. Passive Protection.

1 INTRODUÇÃO

A segurança contra incêndios em edifícios consiste em uma série de ações que visam essencialmente proteger a vida dos ocupantes. No Brasil cada estado fica responsável pelo seu sistema de atendimento de emergências, formulando suas legislações específicas. Em São Paulo, o Decreto nº 63.911 de 2008 consiste no Regulamento de Segurança Contra Incêndios das Edificações e áreas de risco no Estado de São Paulo. Este regulamento apresenta certos objetivos que valem destaque:

I - proteger, prioritariamente, a vida dos ocupantes das edificações e áreas de risco, em caso de incêndios e emergências; II - restringir o surgimento e dificultar a propagação de incêndios, estimulando a utilização de materiais de baixa inflamabilidade e reduzindo a potencialidade de danos ao meio ambiente e ao patrimônio; III - proporcionar, nas edificações e áreas de risco, os meios mínimos necessários ao controle e extinção de incêndios; IV - evitar o início e conter a propagação do incêndio, reduzindo danos ao meio ambiente e ao patrimônio; V - viabilizar as operações de atendimento de emergências; VI - proporcionar a continuidade dos serviços nas edificações ou áreas de risco; VII - distribuir competências para o fiel cumprimento das medidas de segurança contra incêndios; VIII - fomentar o desenvolvimento de uma cultura prevencionista de segurança contra incêndios (ESTADO DE SÃO PAULO, 2018:1).

Em resumo, os objetivos da segurança contra incêndio são minimizar o risco à vida e reduzir a perda patrimonial (VARGAS e SILVA, 2003). Estes objetivos podem ser alcançados através das medidas de segurança contra incêndios, como a garantia de acesso de viatura na edificação; a resistência ao fogo dos elementos de construção; a presença de saídas de emergência, de brigada de incêndio, de sinalização de emergência etc.; e controle das fontes de ignição (ESTADO DE SÃO PAULO, 2018).

Conforme Vargas e Silva (2003), a seleção do sistema de segurança contra incêndio deve ter como balizador os riscos de um início de incêndio, de sua propagação e de suas consequências. Para o autor há uma série de fatores que influenciam a severidade de um incêndio como a atividade desenvolvida no edifício, a forma do edifício, as condições de ventilação do ambiente, as propriedades térmicas dos materiais constituintes das paredes e do



teto, e dos sistemas de segurança contra incêndio instalados (detectores de fumaça, sistema de chuveiros automáticos, brigada contra incêndios, compartimentação etc.). Destaca-se neste trabalho as propriedades térmicas dos materiais estruturais que podem ser fator de colapso da estrutura e critério de atenção para os projetistas.

Todos os materiais comumente empregados em edificações (concreto, aço, madeira), apresentam alterações em suas propriedades quando sujeitos à altas temperaturas (PANNONI, 2011). O aço, por exemplo, é um material incombustível, porém suas propriedades mecânicas degeneram-se consideravelmente em altas temperaturas. “A 600 °C a resistência ao escoamento e o módulo de elasticidade do aço se limitam a 47% e 31% dos respectivos valores à temperatura ambiente” (FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016:9). É comum em um incêndio as temperaturas serem da ordem de 1000 °C e nesta situação pode haver o colapso da estrutura causando perdas irreparáveis. Assim, para se garantir os objetivos da segurança contra incêndio torna-se fundamental a verificação das estruturas em termos de resistência quando em altas temperaturas. As edificações devem ser projetadas e executadas de modo que permitam a desocupação do edifício e o trabalho dos bombeiros durante um determinado período normatizado pela ABNT NBR 14432 (ABNT, 2001), denominado Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF).

Dentre os meios de garantir a integridade da estrutura em situações de incêndio estão as medidas de proteção passiva e as medidas de proteção ativa. Entre as medidas de proteção ativa estão a provisão de sistemas de alarme, de sinalização de emergência, de controle do movimento da fumaça etc. Já as medidas de proteção passiva consistem na compartimentação da edificação, no controle da quantidade de materiais combustíveis, na resistência ao fogo dos elementos estruturais etc. (ONO, 2007). A respeito das medidas de proteção passiva, a resistência ao fogo dos elementos estruturais pode ser desenvolvida por materiais de revestimento que minimizam o fluxo de calor e garantem o TRRF previsto para a edificação (ANDRADE e SOUZA, 2015).

Baseado no TRRF exigido para edificações em aço, quais os revestimentos adequados e usualmente aplicados na estrutura?

Com base no problema de pesquisa exposto, este trabalho propõe-se a desenvolver uma revisão de literatura a respeito dos revestimentos usualmente aplicados em estruturas metálicas que garantam o TRRF necessário.



A legislação brasileira exige que as edificações sejam projetadas atendendo as exigências de segurança contra incêndio, porém, segundo Andrade e Souza (2015), o meio acadêmico possui deficiências na formação de profissionais da construção civil, na área de segurança contra incêndio. Isto se comprova ao analisar as Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN) dos cursos de engenharia no Brasil, em especial a Resolução N° 2 de 24 de abril de 2019 (BRASIL, 2019) que não explicita a necessidade de abordar a temática dentro dos cursos de graduação em engenharia.

A falta de aprofundamento do tema dentro dos cursos de graduação em engenharia civil gera uma cultura de “segundo escalão” para a temática, retornando poucos engenheiros aptos e interessados em atuar em projetos de sistemas de combate a incêndios (SCI). Além disso, por o Brasil construir majoritariamente em concreto armado, existem poucas disciplinas nos cursos de graduação diretamente relacionadas as construções em aço, reduzindo o número de profissionais aptos a desenvolver projetos e a executar obras metálicas. Sem incentivos do mercado e dos cursos de graduação sobre estruturas em aço e SCI, são raros os profissionais que consideram esses fatores ao projetar uma edificação (ONO, 2007).

Baseado no objetivo deste trabalho, o texto segue com um referencial teórico a respeito do histórico de acidentes, o cálculo do tempo requerido de resistência ao fogo e as normas brasileiras pertinentes ao assunto. Na sequência, apresenta-se a metodologia do trabalho que consiste em uma revisão de literatura a respeito dos materiais aplicados como proteção passiva em estruturas de aço. Na seção de Resultados e Discussão são apresentados os materiais comumente empregados, as técnicas de proteção passiva, bem como características dos métodos tradicionais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção é dividida em três subtópicos: histórico de acidentes, normas pertinentes e tempo requerido de resistência ao fogo. Estes itens são base para justificar a necessidade de aplicação de sistemas de combate a incêndios e a necessidade de aplicação de proteção passiva nas edificações em aço.



2.1. Histórico de acidentes

Conforme estudo desenvolvido por Ono (2007) a área de segurança contra incêndio ganhou impulso no país após dois incêndios de grande proporção e que tiveram repercussão internacional: o Edifício Andraus, em 1972 com 16 vítimas fatais, e o Edifício Joelma, em 1974 com 179 vítimas fatais. Estes incidentes sensibilizaram autoridades e acadêmicos, resultando na criação do laboratório de ensaios de fogo do Instituto de Pesquisa Tecnológicas (IPT) do Estado de São Paulo em 1976.

Analisando incêndios catastróficos no país e no exterior, Ono (2007:99) ressalta pontos de atenção:

- “[...] a vulnerabilidade das vias internas de circulação (horizontal e vertical) aos efeitos do incêndio (fumaça, calor e chamas)”;
- a rapidez com que o incêndio pode se propagar no interior do seu compartimento ou pavimento de origem, expandindo-se para os pavimentos ou edifícios vizinhos.

O trabalho desenvolvido por Seito et al. (2008) apresenta os principais acidentes e aprendizados nos Estados Unidos da América e no Brasil. No início, a segurança contra incêndio dos EUA compreendia ações para a proteção do patrimônio e consistiam em sistemas de chuveiros automáticos e de garantias para o suprimento de água. Somente em 1914, após quatro incêndios vitimarem centenas de vidas, começa-se a definir ações que garantam a proteção a vida. Pelo tipo de construção adotado no Brasil, geralmente em alvenaria, o país não teve incêndios de grandes proporções registrados até a década de 60. Nessa época a regulamentação, ressalta Seito et al. (2008) era restrita a pequenas indicações inclusas nos códigos de obras municipais, indicando aspectos básicos como largura das saídas e escadas e a uma regulamentação simplória do corpo de bombeiros, prevendo hidrantes e extintores. Infelizmente o Brasil não colheu aprendizados com os grandes incêndios ocorridos no exterior. Apenas após os incidentes com o edifício Andraus (1972) e Joelma (1974) o país iniciou um trabalho de aprimoramento de seus regulamentos.

O incêndio no edifício Andraus é considerado o primeiro grande incêndio em prédios elevados. Tratava-se de um edifício comercial e de serviços situado na cidade de São Paulo. Com estrutura de concreto armado, 31 andares e acabamento em pele de vidro, acredita-se que o fogo teve início pelos cartazes de publicidade colocados sobre a marquise do prédio. Do incêndio resultaram 16 mortes e 336 feridos. A pele de vidro facilitou a propagação vertical do



fogo e só não gerou mais mortes devido a presença de um heliponto na cobertura que permitiu a proteção das pessoas enquanto aguardavam socorro (SEITO et al., 2008).

Com 23 andares, o edifício Joelma, em São Paulo, comoveu o país devido a projeção de pessoas pela fachada do prédio em busca de escape. O edifício em concreto armado não possuía escadas de emergência, nem meios para resgate aéreo. Pela proximidade temporal e espacial com o edifício Andraus, vários ocupantes buscaram o resgate no topo do edifício, o que foi impraticável, gerando um total de 179 mortos. A partir destes dois eventos o poder público se movimentou para estruturar normas de segurança a serem observadas na elaboração e execução de projetos (SEITO et al., 2008).

2.1 Normas brasileiras

Pannoni (2011) ressalta a elevada resistência das estruturas de aço ao fogo. Segundo o autor, um dos pontos mais importantes sobre o assunto é reduzir o risco de incêndio e, caso estes ocorram, aumentar o tempo de início da deformação da estrutura, melhorando suas condições de segurança. No geral, as normas de segurança contra incêndio levam em consideração “[...] uma temperatura crítica na qual o aço perde uma proporção significativa de sua resistência mecânica ou atinge um estado limite de deformações ou de tensões, ou seja, uma temperatura que represente uma condição de falha, que pode representar o colapso da estrutura” (PANNONI, 2011:50).

No Brasil, cada ente federativo é responsável pelas respectivas corporações. Com a autonomia adquirida ao longo do tempo, cada batalhão do corpo de bombeiros elabora suas instruções técnicas (IT) que prescrevem as regras para execução e implantação de medidas de segurança contra incêndios. Com a difusão de informações, as IT de cada estado estão cada vez mais semelhantes, até porque os estados, em sua maioria, replicam, à sua maneira, as IT do estado de São Paulo. Além das instruções técnicas dos corpos de bombeiros, os SCI são projetados com base nas normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), destacando-se as normas ABNT NBR 14432 de 2001 e ABNT NBR 14323 de 2013. Ambas as normas são discutidas nos próximos parágrafos.

A ABNT NBR 14432 de 2001 “[...] estabelece as condições a serem atendidas pelos elementos estruturais e de compartimentação que integram os edifícios para que, em situação de incêndio, seja evitado o colapso estrutural” (ABNT, 2001:1). Essa norma estabelece o TRRF



requerido para as edificações, variando de 30 a 120 minutos. “Um TRRF de 30 minutos equivale a dizer que a estrutura deve permanecer estável por trinta minutos enquanto a atmosfera a seu redor está a aproximadamente 820 °C” (PANNONI, 2011:51). Os critérios apresentados nesta norma baseiam-se na resistência dos elementos construtivos a exposição de um incêndio-padrão, condicionados a fatores como tipo de ocupação, área, profundidade do subsolo, altura da edificação, facilidade de acesso para combate ao incêndio etc.

Pela dificuldade em se determinar a curva temperatura – tempo de um incêndio real, as normativas brasileiras convencionaram uma curva padronizada como modelo para análise experimental de estruturas e materiais de proteção térmica (VARGAS e SILVA, 2003). A ABNT (2001:3) define essa curva de incêndio-padrão como a “elevação padronizada de temperatura em função do tempo”, dada pela Equação 1, onde o tempo (t) é dado em minutos, θ_o corresponde a temperatura ambiente antes do início do aquecimento, tomada igual a 20 °C, e θ_g é a temperatura dos gases, em graus Celsius, em determinado instante de tempo. O tempo a ser adotado para definição da temperatura dos gases corresponde ao TRRF.

$$\theta_g = \theta_o + 345 \log (8 t + 1) \quad (1)$$

Os resultados do modelo de incêndio-padrão devem ser avaliados com cuidado, pois o comportamento real do incêndio não corresponde ao extraído da Equação 1, como observado na Figura 1. Nessa figura a linha tracejada corresponde a um evento de incêndio real, enquanto a linha contínua representa a temperatura dos gases com base na equação normativa. Para Vargas e Silva (2003:18), “em códigos e normas nacionais e internacionais, ao invés de se exigir segurança à temperatura, exige-se segurança por um determinado tempo, associado à curva-padrão”, e é exatamente isso que propõe a ABNT NBR 14432.

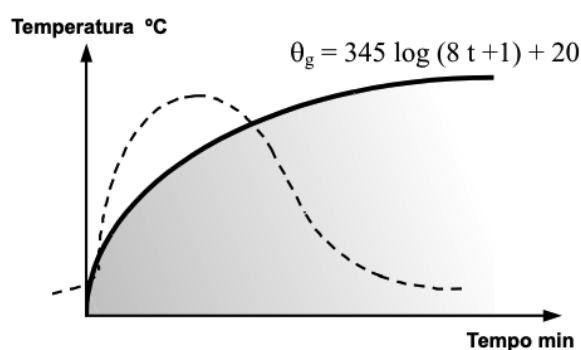


Figura 1 – Modelo de incêndio-padrão
Fonte: Vargas e Silva (2003)



Afunilando para o comportamento de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto em situação de incêndio, o Brasil possui a ABNT NBR 14323 de 2013. Essa norma define os princípios gerais que regem o projeto de estruturas de aço e mistas em edificações em situação de incêndio, baseando-se no método dos estados limites e cobrindo as estruturas projetadas com base nas ABNT NBR 8800 e ABNT NBR 14762.

Para estruturas de aço e mistas de aço e concreto, a ABNT (2013) determina que os elementos estruturais devem ser projetados à temperatura ambiente de acordo com as normas de perfis laminados ou formados a frio, além de realizar verificações da estrutura para os estados limites últimos quando submetidos a temperaturas elevadas. Essa última verificação tem por finalidade “evitar o colapso estrutural em condições que prejudiquem a fuga dos usuários da edificação” (ABNT, 2013:9).

Apenas a título de curiosidade, o Brasil conta com uma norma específica para projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio, a ABNT NBR 15200. Essa norma não será abordada neste trabalho devido o objeto de estudo ser as estruturas em aço.

Em seu anexo F a NBR 14323 apresenta um método alternativo para obtenção do TRRF que leva em consideração aspectos do projeto contra incêndio e as características da edificação que podem reduzir o risco ou propagação do incêndio, facilitando a fuga dos usuários e as operações de combate ao fogo. Os métodos para determinação do TRRF serão apresentados de maneira geral na próxima seção.

2.2 Tempo Requerido de Resistência ao Fogo

A primeira etapa do dimensionamento de elementos estruturais em situação de incêndio é a determinação do respectivo TRRF. Deve-se adotar os valores definidos por legislação regional do corpo de bombeiros, e na sua ausência, o preconizado pela NBR 14432 (RODRIGUES e OLIVEIRA, 2021).

O TRRF depende da altura da edificação, da profundidade do subsolo, da área dos pavimentos, do tipo de uso e ocupação, da existência de sistemas de proteção ativa e da presença de aberturas laterais, entre outros parâmetros. O TRRF é dado em minutos e cresce à medida que o risco à vida e a dificuldade de evacuação aumentam, variando de 30 min a 120 min, em intervalos de 30 min (RODRIGUES e OLIVEIRA, 2021:24).



O valor do TRRF pode ser determinado por dois métodos: método tabular, determinado pela NBR 14432, e pelo método do tempo equivalente, correspondente ao anexo F da NBR 14323. No Quadro 1 observa-se o fluxo de trabalho para determinação do TRRF pelo método tabular.

| Etapa | Descrição |
|---|--|
| Determinação do grupo e da divisão da edificação | O anexo B da NBR 14432 classifica as edificações, quanto à sua ocupação em dez grupos. Cada grupo é subdividido de forma a melhor caracterizar a ocupação da edificação. |
| Determinação da altura da edificação e da profundidade de piso em subsolo | Com base nos projetos da edificação, o projetista deve identificar a altura da edificação e a profundidade do piso em subsolo (caso exista). Deve-se ler a norma para caracterizar altura da edificação e profundidade de piso em subsolo. |
| Determinação do TRRF | De posse dos parâmetros anteriores, o anexo A da NBR 14432 apresenta os valores do TRRF em minutos. A leitura da norma é imprescindível para interpretação do anexo e suas particularidades. |

Quadro 1 – Fluxo de trabalho para determinação do TRRF conforme método tabular apresentado na ABNT NBR 14432 de 2001

Fonte: Adaptado de Rodrigues e Oliveira (2001)

A última etapa do Quadro 1 é observada na Tabela 1, que apresenta um extrato da tabela normativa com a classificação da edificação, sua altura e o TRRF requerido. Na leitura da tabela entende-se o grupo A como edificações com ocupação residencial; grupo B como serviços de hospedagem; e grupo C como comercial varejista. A Tabela 1 suprimiu uma série de informações e não deve ser utilizada como referência para determinação do TRRF.

| Grupo | Divisão | Altura da edificação | | |
|--------------|----------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | | Classe P₁ | Classe P₃ | Classe P₅ |
| A | A-1 a A-3 | 30 | 60 | 120 |
| B | B-1 e B-2 | 30 | 60 | 120 |
| C | C-1 a C-3 | 60 (30) | 60 | 120 |

Tabela 1 – Extrato da NBR 14432 indicando o TRRF, em minutos

Fonte: Adaptado de ABNT (2001)

Supondo uma edificação residencial (Grupo A) com habitações multifamiliares (Divisão A-2), com altura entre o nível de saída da edificação (nível de descarga) e o piso do



penúltimo pavimento de 20 metros (Classe P₃), o TRRF requerido para a edificação é de 60 minutos.

Em posse do TRRF dos elementos estruturais, procede-se com a determinação da capacidade resistente do aço em situações de incêndio. Para isso determina-se, por métodos simplificados (normativos) ou avançados/experimentais, a temperatura do perfil de aço, as propriedades mecânicas alteradas pela temperatura e a sua resistência com base na NBR 14323 (ABNT, 2013).

Conforme Rodrigues e Oliveira (2021:89), “a determinação da elevação de temperatura do aço é feita de maneira diferente em função das características da estrutura”. Os autores dividem em:

- estruturas internas sem revestimento contra fogo;
- estruturas internas com revestimento contra fogo;
- estruturas externas;
- estruturas de compartimentação;
- ligações.

Quando não for possível garantir a segurança estrutural (para o TRRF definido) de edificações sem revestimentos, deve-se proceder com técnicas de revestimento contra fogo a fim de impedir o aumento excessivo da temperatura das estruturas de aço. Os tipos de revestimento, suas características e técnicas de aplicação são objeto deste trabalho e presentes na seção de resultados.

3 METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido com base em uma revisão bibliográfica com o objetivo de apresentar os revestimentos usualmente aplicados em estruturas metálicas que garantam o TRRF necessário para edifícios em aço.

Para atingir este objetivo, foi desenvolvido uma revisão sobre o histórico de acidentes nacional e internacional, as normas brasileiras sobre os sistemas de proteção passiva de estruturas de aço em situação de incêndio, e o cálculo do tempo requerido de resistência ao fogo. A partir dessa revisão mais generalista, propôs-se nos resultados apresentar os principais tipos de revestimentos aplicados em estruturas de aço e mistas de aço e concreto.

A apresentação dos tipos de revestimentos e suas particularidades teve como base a literatura nacional, em especial os trabalhos desenvolvidos pelo Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA), bem como referências internacionais que são indicadas como fontes de consulta apropriadas pelo próprio CBCA.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

São apresentados na seção de resultados e discussão as técnicas de revestimento adequadas para a proteção de estruturas de aço em situação de incêndio, de forma a garantir a integridade estrutural durante o tempo definido pelo TRRF.

Quando a estrutura requer revestimento de proteção contra incêndios, sua composição consiste, normalmente, de gesso, vermiculita, fibras minerais ou materiais cerâmicos (FAKURY, SILVA e CALDAS, 2016). Estes materiais são escolhidos por apresentarem baixa massa específica aparente, baixa condutividade térmica, alto calor específico, adequada resistência mecânica, garantia de integridade durante a evolução do incêndio, e custo compatível (VARGAS e SILVA, 2003).

Fakury, Silva e Caldas (2016) classificam os tipos de proteção em “tipo contorno” e “tipo caixa”. No primeiro temos os materiais e revestimento do tipo argamassa, onde ele é projetado em toda a superfície exposta dos elementos. No “tipo caixa”, o revestimento é montado em volta do elemento estrutural, normalmente utilizando-se placas rígidas ou semirrígidas. Acrescenta-se ainda o “tipo sólido” presente na Figura 2 e caracterizado pelo revestimento em concreto, geralmente armado (estrutura mista). Essa seção focará nos materiais para proteção do “tipo contorno”.

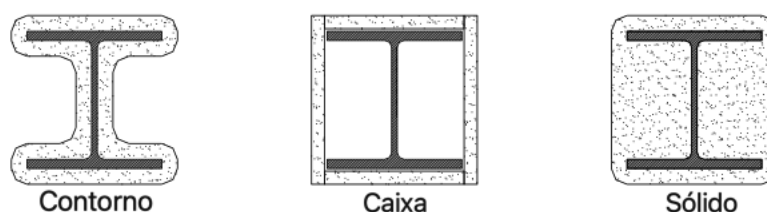


Figura 2 – Tipos de proteção estrutural contra incêndio
Fonte: ASFP (2014)



Segundo Andrade e Souza (2015) os materiais projetados são os mais empregados na construção civil brasileira, exatamente pelos excelentes desempenhos às altas temperaturas que atendem aos TRRF superiores aos determinados pela NBR 14432. Em um contexto histórico, no final do século XIX introduziu-se a terracota (argila modelada e cozida em forno) como material de revestimento e proteção da estrutura de edifícios norte americanos. Em seguida surgem as argamassas constituídas de fibras de amianto com cimento (asbesto), hoje proibidas devido suas fibras serem consideradas altamente cancerígenas (DIAS, 2002).

4.1 Argamassa projetada

As argamassas projetadas frequentemente utilizadas são “materiais de base cimentícia ou gesso contendo fibras minerais, vermiculita expandida e outros agregados leves” (SEITO et al., 2008:155). Esse tipo de revestimento é capaz de fornecer resistência ao fogo de até 240 minutos.

A aplicação do produto deve ser realizada em campo, apesar de experiências bem-sucedidas de aplicação prévia na Inglaterra. Justifica-se a aplicação em campo devido a dificuldade de garantir a qualidade da proteção durante o transporte e montagem dos elementos. Por meio de equipamentos de jateamento o material é aderido as peças metálicas formando uma película protetora. Sua aplicação pode ser na condição seca (fibras projetadas) ou úmida (materiais à base de gesso contendo vermiculita), conforme Seito et al., 2008. No Quadro 2 estão presentes os materiais projetados empregados no mercado nacional.



| PRODUTO | FABRICANTE | REPRESENTANTE NO BRASIL |
|-----------------|------------------------|--------------------------------|
| Monokote MK6 | Grace | Grace do Brasil |
| Blaze Shield II | Isolatek International | Morganite do Brasil |
| Cafco 300 | Isolatek International | Morganite do Brasil |
| Fendolite | Isolatek International | Morganite do Brasil |
| Isopiro | Eucatex | Produzido no Brasil |
| Isopiro LV | Eucatex | Produzido no Brasil |
| Termosist | Grupo Sistema | Produzido no Brasil |
| Isobrax | Magnesita | Produzido no Brasil |
| Pyrocrete 40 | Carboline | Unifrax Brasil |
| Pyrolite 15 HY | Carboline | Unifrax Brasil |
| Pyrolite 22 | Carboline | Unifrax Brasil |

Quadro 2 – Materiais projetados empregados no mercado nacional

Fonte: Seito et al., 2008

A seleção da argamassa projetada deve levar em consideração especificações técnicas básicas do produto, como (VARGAS e SILVA, 2003):

- trabalhar monoliticamente com a estrutura, acompanhando seus movimentos sem que ocorram fissuras ou desprendimentos;
- não haver perdas de material quando submetidos a ensaios de erosão sob correntes de ar;
- ter durabilidade igual da estrutura, dispensando manutenção;
- ter aderência entre camadas sucessivas;
- não podem ser higroscópicas, garantindo que o aço ficará livre de umidade, dispensando o uso de primers ou outros sistemas de proteção contra corrosão;
- devem ter, em sua formulação, substâncias fungicidas e bactericidas que não permitam a proliferação de fungos e bactérias em seu interior.

O Quadro 3 apresenta um apanhado de características básicas de alguns produtos apresentados no Quadro 2. Esse levantamento teve como base as especificações técnicas apresentadas pelos fabricantes.



| PRODUTO | DENSIDADE | CONDUTIVIDADE TÉRMICA | RENDIMENTO POR GALÃO |
|--------------|----------------------|-----------------------|-------------------------------|
| Cafco 300 | 240kg/m ³ | 0.078 W/mK a 24°C | 4,25 m ² (25,4 mm) |
| Isopiro | Não disponível | 0.230 W/mK a 24°C | Não disponível |
| Monokote MK6 | 240kg/m ³ | Não disponível | 2,51 m ² (25,4 mm) |
| Pyrocrete 40 | 640kg/m ³ | 0.153 W/mK a 24°C | 1,66 m ² (25,4 mm) |

Quadro 3 – Características básicas de materiais projetados empregados no Brasil

Fonte: Dados obtidos pelo autor (2023)

Devido a baixa condutividade térmica, estes materiais garantem maior tempo de exposição ao fogo sem reduzir as propriedades do aço. A título de comparação, a condutividade térmica do concreto fica em torno de 0,5 a 0,8 W/mK e já é considerado um material adequado para proteção de estruturas em aço (MEDVED, 2022).

Com exceção do Isopiro, os demais produtos presentes no Quadro 3 dispensam o uso de pinos ou telas para fixação. Em todos os produtos a execução exige a preparação da superfície, com limpeza para remoção de óleos, graxas e resíduos, e posterior aplicação do produto em camadas, iniciando por uma camada de aderência ao substrato variando entre 13 e 16 milímetros, e camadas posteriores em torno de 16 mm, atentando-se ao tempo de cura entre demãos e a garantia de circulação de ar e temperatura adequadas. A Figura 3 retrata um operador jateando uma argamassa projetada em um pilar de aço. Note o acabamento texturizado do material quando aplicado. Quando necessário, pode-se utilizar uma espátula para melhorar o acabamento da peça.

Figura 3 – Aplicação de argamassa projetada em pilar metálico
Fonte: Arabian Vermiculite Industries (2016)

Os materiais apresentados são vulneráveis a danos mecânicos, requerendo cuidados especiais quando aplicado em áreas sujeitas a impactos, bem como não garantem proteção contra corrosão do aço, apesar de que seu uso, quando em estruturas internas, não exige a



aplicação de primers para proteção contra corrosão (SILVA, VARGAS e ONO, 2010). O Quadro 4 dispõe resumidamente as principais características das argamassas projetadas, com base no trabalho desenvolvido por Pannoni (2011).

| CUSTO | APLICAÇÃO | DURABILIDADE | APARÊNCIA |
|---|--|---|--|
| Custo inferior aos materiais rígidos e semi-rígidos (incluindo mão de obra) | Fácil aplicação, inclusive para cobrir detalhes complexos. | Não exige manutenção ao longo do tempo. | Aparência texturizada, semelhante ao chapisco aplicado em alvenaria. |

Quadro 4 – Principais características das argamassas projetadas

Fonte: Adaptado de Pannoni (2011)

4.2 Pintura intumescente

A pintura intumescente consiste em uma película fina que aumenta de volume (intumesce/incha) quando sujeita à ação do calor, formando uma película de proteção térmica do aço (SILVA, VARGAS e ONO, 2010). Em sua composição, as tintas intumescentes, possuem polímeros que reagem na presença de fogo, em geral, a partir dos 200 °C, aumentando seu volume. No processo “os poros resultantes são preenchidos por gases atóxicos, que, junto com resinas especiais que constituem as tintas, formam uma espuma carbonácea rígida na superfície do aço, retardando o efeito do calor da chama” (SILVA, VARGAS e ONO, 2010:58). Segundo Pannoni (2011), as propriedades mecânicas do aço começam a se alterar após atingir temperaturas superiores a 400 °C, ou seja, quando a tinta intumescer, o aço estará com toda sua resistência original. Testes indicam que este revestimento ao se expandir aumenta sua espessura de 15 a 30 vezes (MEDVED, 2022). Para Seito et al. (2008), essa expansão é tipicamente superior a 60 vezes.

São revestimentos de proteção caros, conforme Dias (2002). Para o TRRF de 30, 60, 90 e 120 minutos, um perfil com fator de massividade de 170 m^{-1} , por exemplo, são necessárias camadas com 400, 1600, 3150 e 4500 micrometros, respectivamente. Comparativamente, pinturas para proteção contra corrosão são da ordem de 120 a 360 μm . Essa é a principal desvantagem do método, principalmente quando o TRRF for superior a 60 minutos.

Sua aplicação é realizada por meios de pintura convencionais, como pistola, rolo de lã, trincha ou pincel, proporcionando textura e aparência similares às pinturas convencionais

(VARGAS e SILVA, 2003). Tem-se na Figura 4 a aplicação de tinta intumescente em viga de aço com o uso de pistola. Apesar de sua simplicidade de aplicação, cuidados devem ser tomados (MAZA PRODUTOS QUÍMICOS, 2022 e DIAS, 2002):

- A superfície a ser pintada deve estar limpa, seca, sem poeira, livre de gordura, graxa ou pintura velha.
- Por ser degradável em água, sua utilização requer uma pintura de base e de acabamento compatíveis, elevando os custos da proteção.
- O sistema de pintura deve sofrer verificações periódicas (de 2 a 8 anos), devendo haver a reaplicação do produto. O ciclo de manutenção pode variar com uma série de fatores como intempéries, umidade do local, impactos mecânicos, desgaste por materiais de limpeza etc.



Figura 4 – Aplicação de tinta intumescente em viga celular
Fonte: Tornado (2020)

Em contraponto à indicação de manutenções indicadas por Maza Produtos Químicos (2022), Seito et al. (2008), indica que na maior parte dos casos, um sistema intumescente adequadamente aplicado em ambientes internos (categoria de agressividade C1 e C2) não exigira qualquer manutenção adicional ao longo da vida útil da edificação, exceto manutenções de caráter estético ou onde danos mecânicos tenham ocorrido. O autor reforça ainda a necessidade de manutenções periódicas para as demais categorias de agressividade. Portanto, a especificação de um sistema intumescente deve considerar as condições ambientais submetidas durante a vida útil da edificação.

Na pesquisa desenvolvida por Seito et al. (2008), o uso de tintas intumescentes em certos países corresponde a mais do que 40% do mercado de produtos de proteção térmica utilizados em edifícios de múltiplos andares. Sua viabilidade financeira geralmente atente a



TRRF de 30 a 60 minutos, tendo seu uso ampliado para 90 minutos em alguns países. Para TRRF superiores é preferível o uso de outros meios de proteção como a argamassa projetada.

A aplicação de tinta intumescente pode ser realizada em campo (“on-site”) ou no fabricante (“off-site”). Em aplicações “off-site” há benefícios como celeridade na montagem no canteiro de obras, qualidade da aplicação, uma vez que pode ser cuidadosamente controlada e supervisionada, além da redução de interferências no canteiro de obras, bem como redução na perda de material devido ao controle das condições climáticas (SEITO et al., 2008).

O Quadro 5 expõe alguns produtos comercializados no país. A fonte de busca dos produtos foi o Guia da Construção em Aço divulgado pela CBCA. Na categoria Proteção Térmica o guia apresenta 16 fornecedores. Ao acessar seus sites, apenas em 3 foram encontradas tintas intumescentes no catálogo de produtos. Complementando o quadro, dispõem-se os produtos e fabricantes indicados no trabalho de Seito et al. (2008). Infelizmente parte das fabricantes/representantes de produtos para estruturas de aço no Brasil ainda não estão cadastradas no guia, dificultando a promoção de seus produtos no mercado nacional.

| PRODUTO | FABRICANTE | REPRESENTANTE NO BRASIL |
|-----------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| PMA 1200HD | AUDAX-Keck GmbH | CKC do Brasil |
| PMA 600HD | AUDAX-Keck GmbH | CKC do Brasil |
| Firesteel 47-A | Firetherm | CKC do Brasil |
| Chartek 1709 | International Protective Coatings | Inter Coatings |
| Chartek 7 | International Protective Coatings | Inter Coatings |
| Interchar 212 | International Protective Coatings | Inter Coatings |
| Firetex | Leigh's Paints | Morganite do Brasil |
| Interchar 963 | Tintas International | Morganite do Brasil |
| Sprayfilm | Isolatek International | PCF Soluções |
| Unitherm | Sika | PCF Soluções |
| Calatherm 600 | Tintas Calamar | Produzido no Brasil |
| Nullifire S605 e S707 | Carboline | Unifrax Brasil |

Quadro 5 – Tintas intumescentes fornecidas no Brasil

Fonte: Dados obtidos pelo autor (2023) e adaptado de Seito et al. (2008)

Semelhante ao desenvolvido para as argamassas projetadas, o Quadro 6 dispõe das principais características das tintas intumescentes. Acrescenta-se como característica o tempo



de proteção ao fogo limitado. Nesse tipo de revestimento a proteção é econômica para TRRF de até 60 minutos, havendo algumas tintas capazes de proteger por 90 ou 120 minutos, não mais que isso.

| CUSTO | APLICAÇÃO | DURABILIDADE | APARÊNCIA |
|---|---|---|---|
| Custo superior a argamassa projetada e a instalação de materiais rígidos ou semi-rígidos. | Aplicação semelhante as tintas convencionais, utilizando rolos, trinchas, pincéis e pistolas. | Em ambientes internos não exige manutenção ao longo do tempo, exceto reparos. | Acabamento atraente, pois, pode-se aplicar uma tinta de acabamento na coloração desejada. |

Quadro 6 – Principais características das tintas intumescentes

Fonte: Adaptado de Pannoni (2011)

Adaptado do trabalho de Seito et al. (2008), o Quadro 7 resume as principais características dos sistemas de proteção apresentados neste trabalho.

| | MATERIAIS PROJETADOS | MATERIAIS INTUMESCENTES |
|---|--|--|
| Custo relativo | Baixo a médio | Médio a alto |
| Equipamentos necessários à aplicação | Equipamentos especiais são necessários | Equipamentos utilizados normalmente em pintura |
| Uso interno/externo | Interno e externo | Interno, com alguns sistemas externos |
| Preparação | Superfícies devem estar limpas e serem compatíveis | Uma tinta de fundo compatível é necessária, aplicada sobre superfícies de aço previamente limpas |
| Robustez | Vulnerável a danos mecânicos | Semelhante aos sistemas de pintura tradicionais |
| Acabamento | Texturizado | Liso ou levemente texturizado. Permite acabamento decorativo |
| Faixa de espessuras | 10 a 75 mm | 0,3 a 6,5 mm |
| Resistência ao fogo máxima | 240 minutos | 120 minutos |

Quadro 7 – Resumo comparativo entre os sistemas de proteção com materiais projetados e tinta intumescente

Fonte: Adaptado de Seito et al. (2008)

A seleção do sistema de proteção não deve se limitar aos apresentados neste trabalho. A escolha dos dois métodos se deu pelo método de instalação semelhante, facilitando uma comparação. Não se podem descartar o uso de materiais rígidos e semi-rígidos, bem como o



uso do enclausuramento por concreto. Este último entrou em desuso com o advento dos demais métodos que trazem materiais mais leves (PANNONI, 2011).

5 CONCLUSÕES

Este trabalho se propôs a apresentar os tipos de revestimento usualmente empregados na proteção passiva de edificações em aço quando em situação de incêndio. Por meio de uma revisão de literatura apresentou-se os métodos de argamassa projetada e pintura intumescente, capazes de garantir um TRRF adequado para as edificações.

Com base nas normas brasileiras, o Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF) varia de 30 a 120 minutos, sendo que o método de argamassa projetada é capaz de garantir um TRRF de até 240 minutos, enquanto o sistema de pintura intumescente pode garantir um TRRF de 120 minutos. Em ambos os casos é possível variar esse TRRF apenas alterando a espessura do material aplicado.

Em um projeto estrutural em situação de incêndio o projetista deve, inicialmente, prever o TRRF requerido pelas normas brasileiras, atentando-se sempre às exigências complementares do corpo de bombeiros. Essas exigências complementares não foram expostas no trabalho devido sua variabilidade regional. Definido o TRRF procede-se com a verificação da segurança estrutural. Se necessário reveste-se a estrutura para impedir o aumento excessivo de temperatura, capaz de reduzir drasticamente as propriedades do aço.

O revestimento estrutural pode ser desenvolvido por proteções do tipo contorno, caixa e sólido. Foi objeto de estudo apenas as proteções do tipo contorno utilizando argamassa projetada e pintura intumescente. A primeira é considerada a de maior emprego no país, enquanto a segunda apresenta o melhor acabamento.

Ambos os materiais possuem representantes no Brasil capazes de atender aos mais variados portes de obras. No geral, os materiais fornecidos são importados e revendidos por representantes nacionais. Poucas são as empresas nacionais que produzem argamassa projetada e tintas intumescentes.

Os materiais projetados possuem baixo custo, apesar de requerer equipamentos especiais, bem como mão de obra especializada. Seu uso pode ser interno e externo, porém possuem um acabamento texturizado que pode prejudicar a estética da edificação. No geral conseguem TRRF de até 240 minutos com espessuras variando de 10 a 75 milímetros.



Os materiais intumescentes possuem custo mais elevado, porém garantem um acabamento liso e favorável ao apelo estético. Sua aplicação é semelhante aos sistemas de pintura tradicionais, e garantem um TRRF de até 120 minutos com espessuras variando de 300 a 6500 μm .

Fica como sugestão de pesquisa futura um estudo de caso sobre os custos e produtividade dos métodos apresentados, bem como a ampliação do escopo para o uso das proteções do tipo caixa e sólido.

Este trabalho apresenta uma revisão de literatura a cerca dos métodos de proteção do tipo contorno, permitindo a rápida consulta por estudantes e profissionais que necessitem de rápida informação sobre proteção passiva de estruturas de aço. Com este material é possível obter as propriedades básicas dos materiais, bem como seus fabricantes e representantes no mercado nacional.

REFERÊNCIAS

ABNT, 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: ABNT, 2013.

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

ANDRADE, C. A.; SOUZA, J. C. Projeto de arquitetura: proteção contra incêndio em elementos estruturais de aço. **Estação Científica**, Macapá, v. 5, n.2, p. 49-68, 2015.

ASFP, ASSOCIATION FOR SPECIALIST FIRE PROTECTION. **Fire protection for structural steel in buildings**. 1. vol. 5. ed. Grã-Bretanha: ASFP, 2014.

AVA, ARABIAN VERMICULITE INDUSTRIES. **Monokote Type MK-6/HY**: Product Data and Application Instruction. Arábia Saudita: AVA, 2016. Disponível em: http://www.avi-sa.com/datasheets/Product%20Datasheet_Monokote%20MK-6HY.PDF. Acesso em: 17 jan. 2023.

BRASIL. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. Câmara de Educação Superior. **Resolução Nº 2, de 24 de abril de 2019**. Institui as Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. Brasília, DF: Ministério da Educação, 2019. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/docman/abril-2019-pdf/112681-rces002-19/file>. Acesso em: 18 jan. 2023.



DIAS, L. A. de M. **Estruturas de aço**: conceitos, técnicas e linguagem. 4. ed. São Paulo: Zigate Editora, 2002.

ESTADO DE SÃO PAULO. Decreto nº 63.911, de 10 de dezembro de 2018. Institui o Regulamento de Segurança Contra Incêndios das edificações e áreas de risco no Estado de São Paulo e dá providências correlatas. **Diário Oficial - Executivo**. São Paulo, SP: Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo, 2018. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2018/decreto-63911-10.12.2018.html>. Acesso em: 19 dez. 2022.

FAKURY, R. H.; SILVA, A. L. R. de C e; CALDAS, R. B. **Dimensionamento básico de elementos estruturais de aço e mistos de aço e concreto**. 1. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

MAZA PRODUTOS QUÍMICOS. **Boletim Técnico**: Maza Tinta Intumescente Branco. São Paulo: Maza Produtos Químicos, 2022. Disponível em: <https://www.maza.com.br/upls/fichas/Maza%20Tinta%20Intumescente.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2023.

MEDVED, S. **Building Physics**: Heat, Ventilation, Misture, Light, Sound, Fire, and Urban Microclimate. Suícia: Springer, 2022.

ONO, R. Parâmetros para garantia da qualidade do projeto de segurança contra incêndio em edifícios altos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 97-113, 2007.

PANNONI, F. D. **Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio**. 5. ed. São Paulo: Gerdau, 2011.

RODRIGUES, J. P. C.; OLIVEIRA, R. L. G. de. **Dimensionamento de estruturas em situação de incêndio**: segundo as normas brasileiras. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2021.

SEITO, A. I (coord.); GILL, A. A.; PANNONI, F. D.; ONO, R.; SILVA, S. B. da; DEL CARLO, U.; SILVA, V. P. e. **A segurança contra incêndio no Brasil**. 1. ed. São Paulo: Projeto Editora, 2008.

SILVA, V. P. e; VARGAS, M. R.; ONO, R. **Prevenção contra incêndio no projeto de arquitetura**. 1. ed. Rio de Janeiro: IABr/CBCA, 2010.

TORNADO. **Tinta intumescente para hidrocarbonetos**. 2020. 1 fotografia. Disponível em: <https://tornado.com.br/wp-content/uploads/2020/04/Tinta-Intumescente-Chartek-1709.jpg>. Acesso em: 18 jan. 2023.

VARGAS, M. R.; SILVA, V. P. e. **Resistência ao fogo das estruturas de aço**. 1. ed. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil/CBCA, 2003.