

Tema: Proteção das estruturas: Corrosão e incêndio

PINTURAS INTUMESCENTES versus ARGAMASSA PROJETADA JATEADA: ANÁLISE DE DESEMPENHO EM ESTRUTURAS METÁLICAS

Chrysthyan Rhayhan Souza de Oliveira¹

Clodoaldo Cesar Malheiros Ferreira²

Resumo

A pesquisa vem com o intuito de apresentar a tecnologia das proteções passivas, com foco na Pintura Intumescente e na Argamassa Projetada Jateada, e suas vantagens no campo de aprimoramento das estruturas metálicas em situações de incêndio. Foram utilizadas 3 classificações de perfis metálicos (Cantoneira, I e U) revestidos com os materiais propostos e realizados ensaios em que cada perfil foi simultaneamente submetido a uma carga axial de compressão e a ação do fogo provinda de maçarico, buscando simular uma situação de incêndio. Analisou-se o resguardo estrutural de cada tipo de material em relação aos perfis sem nenhum tipo de proteção, sendo medido até qual valor de carga e em qual intervalo de tempo os corpos de prova resistiram antes de ocorrer o fenômeno da flambagem, além da temperatura máxima alcançada, que foi aferida por meio de termômetro industrial e termopares vinculados a data loggers. Concluiu-se que os perfis em que se utilizou os materiais de proteção térmica resistiram a cargas maiores do que os corpos de prova sem proteção, e além disso, que os perfis revestidos com argamassa projetada foram mais resistentes do que os com a tinta intumescente, em função de possibilitar maior TRRF.

Palavras-chave: Argamassa Projetada Jateada; Pintura Intumescente; Proteção Passiva.

INTUMESCENT COATING versus PROJECTED MORTAR: PERFORMANCE ANALYSIS IN STEEL STRUCTURES

Abstract

The research comes with the objective to presenting the technology of passive fire protection, with focus in intumescent coating and projected mortar, and their advantages in steel structures in fire situation. The experiments had happened in 3 structural steel parts (Angles, Joists and Channels), coated with the proposed materials and which were simultaneously submitted the action of a torch fire and to axial compression stress, trying to simulate a fire situation. The structural protection of each type of material was analyzed comparing with the uncoated profiles, being measured up to which value of load and in which time interval the specimens resisted before the phenomenon of buckling occurs, in addition to the maximum temperature reached, which was measured using an industrial thermometer and thermocouples linked to data loggers. It was concluded that the profiles in which the thermal protection materials were used resisted greater loads than the unprotected specimens, and in addition the profiles coated with projected mortar were more resistant than those with the intumescent coating because they allow greater TRRF.

Keywords: Projected Mortar; Intumescent Coating; Passive Fire Protection.



¹ Engenheiro Civil, Mestrando em Estruturas pelo PGECIV – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ, Brasil.

² Engenheiro Civil, Mestre, Professor do Departamento de Engenharia Civil – DEC, Universidade Estadual do Maranhão, São Luís – MA, Brasil.

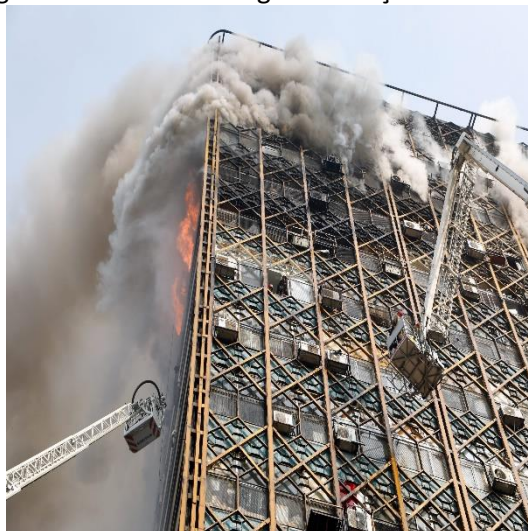
1 INTRODUÇÃO

1.1 Propriedades do aço sob ação do fogo

É notório que cada vez mais as estruturas metálicas estão presentes nos canteiros de obras das construções brasileiras, seguindo uma tendência internacional que já é antiga, em função das diversas vantagens que esse elemento estrutural possui. Contudo, ainda existem profissionais da área que tem certo receio em utilizar o material, em função de sua teórica fragilidade quanto exposto a altas temperaturas, o que dificulta a implantação de maneira mais ampla nas obras. Quando o fogo entra em contato com o aço, ocorrem diversas reações que alteram propriedades mecânicas e térmicas do material, que influenciam em diversos pontos de atuação. Martins [1] afirma que uma dessas reações é a degeneração de características físicas e químicas, que causam a redução de rigidez e de resistência, onde essa manifestação é prevista na NBR 14323 [2] em fatores de redução tanto para o limite de escoamento quanto para o módulo de elasticidade. Outros fatores importantes apresentados pela norma são o alongamento que ocorre no material quando exposto a temperaturas elevadas e sua condutividade térmica.

Em função dessas problemáticas, as estruturas devem estar preparadas para estarem submetidas a incêndios, e quando não estão, geram tragédias. Pode-se citar um exemplo recente, como o Plasco Building, no Irã, em que segundo o El País [3] o edifício estruturado em aço colapsou em função da ausência de sistemas de proteção contra o fogo, além da problemática de armazenamento de grandes quantidades de tecidos em caixas espalhadas pelas escadas de incêndio, o que facilitou a propagação do fogo, que durou aproximadamente quatro horas [4].

Figura 1 - Plasco Building em situação de incêndio



Fonte: NBC News (2017)

1.2 Segurança contra incêndio nas edificações

Em condições normais, considera-se uma estrutura segura quando a mesma tem a capacidade de resistir aos esforços advindos dos carregamentos presentes, além de ações externas, como a do vento. Contudo, no caso de uma estrutura estar submetida à ação de um incêndio, ou seja, um caso excepcional, ela é considerada segura quando tem capacidade resistente suficiente aos

esforços solicitantes em altas temperaturas, independentemente de ter ou não alguma medida protetiva contra o incêndio.

Vargas e Silva [5] afirmam que ao ocorrer um incêndio numa edificação, são aceitáveis plastificações e ruínas localizadas que não determinem colapso além do local. Nesse caso, depois de um incêndio, a estrutura só pode ser reutilizada após uma verificação, em que para casos pequenos e isolados, provavelmente não será necessária intervenção, enquanto que para casos mais extremos, é preciso realizar um processo de recuperação, realizando um projeto que permita que a edificação se enquadre novamente nos estados limites últimos e de serviço que a NBR 8800 [6] aborda. Dito isso, observa-se que o foco da segurança contra incêndio das edificações é diretamente relacionado as condições que os perfis estruturais e de compartimentos, que são a base de sustentação da construção, irão manter quando o fogo atuar sobre as mesmas, tendendo a reduzir sua capacidade resistente e ocorrência de acréscimos de esforços. Sobre esse tema, Bernardes [7] afirma que os elementos estruturais e de compartimentação devem manter sua estabilidade e resistência ao fogo por um tempo suficiente para possibilitar a fuga dos ocupantes do edifício, a segurança de operações de combate ao incêndio e a proteção do próprio edifício e das edificações em seu entorno.

Percebe-se com essa afirmação que o tempo é um dos pontos vitais numa situação de incêndio, uma vez que a vida das pessoas que estão na edificação é a prioridade, e por isso é necessário que se tenha uma estrutura que esteja preparada para suportar o fogo, e caso venha a colapsar, que seja apenas após a evacuação total da mesma, sendo esse processo conhecido como segurança estrutural visando a proteção à vida. Caso também esteja se tratando da segurança estrutural para proteção patrimonial, o objetivo é elaborar uma estrutura que não colapse devido a ação do incêndio, sendo necessário apenas os reforços para os estados limites já citados. Outro ponto vital é a temperatura atingida, em que Vargas e Silva [5] afirmam que a temperatura crítica é a que causa o colapso de um elemento estrutural em situação de incêndio. Contudo, é rotineiro observar em normas e códigos, tanto nacionais quanto internacionais, a exigência de segurança baseada no parâmetro tempo associado a curva-padrão utilizada pela instituição, e não segurança à temperatura. Esse tempo é conhecido com Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF), em que a NBR 14432 [8] define como sendo o tempo mínimo de resistência ao fogo de um elemento construtivo quando sujeito ao incêndio-padrão. Seito *et al* [9] afirma que esse tempo é fictício, e que associada as curvas de incêndio-padrão preconizadas nas normas possibilitam obter a máxima temperatura no elemento de aço no incêndio real.

Esse tempo requerido varia entre edificações e depende de alguns fatores, em que Bernardes [7] cita como possíveis variáveis o tipo de edifício e ocupação a qual se destinará, a carga de incêndio específica do seu conteúdo, a área total do edifício e área de cada pavimento, a altura do edifício e sua compartimentação, além de sua taxa de ocupação. A NBR 14432 [8] utiliza o método tabular para indicar esse dado, com TRRF possíveis de 30, 60, 90 e 120 minutos, em que quanto mais o grau de periculosidade à vida humana é explicitado, devido a ocupação e altura do edifício, a exigência ao tempo requerido de resistência ao fogo aumenta. Obviamente, para estruturas mais simples (área reduzida, ou apenas um pavimento), a norma indica que não é necessária a verificação em situação de incêndio, pela possibilidade de evacuação mais facilitada.

1.3 Proteção contra incêndios

A implementação de medidas de proteção contra incêndios, segundo o Corpo de Bombeiros de São Paulo [10], são: Proteger a vida dos ocupantes das edificações e áreas de risco, em caso de incêndio; dificultar a propagação do incêndio, reduzindo danos ao meio ambiente e ao

patrimônio; proporcionar meios de controle e extinção do incêndio; dar condições de acesso para as operações do Corpo de Bombeiros Militar; proporcionar a continuidade dos serviços nas edificações e áreas de risco.

Dito isso, pode-se dividir a proteção contra incêndio e seu conjunto de medidas em dois grupos que atuam de maneira distinta, sendo elas as proteções ativas, que estão relacionadas a detecção, alarme e extinção do fogo de maneira automática ou manual, e as proteções passivas, que abrangem o controle dos materiais, meio de escape, compartimentação e proteção da estrutura do edifício.

1.3.1 Proteções ativas

Pode-se definir essa classificação, segundo a NBR 14432 [8], como tipo de proteção contra incêndio que é ativada manual ou automaticamente em resposta aos estímulos provocados pelo fogo, composta basicamente das instalações prediais de proteção contra incêndio. Essas medidas tem o foco de atuar imediatamente após a problemática iniciar-se, e buscam diminuir a possibilidade de um incêndio de grande porte ocorrer, por meio de diversos instrumentos que podem ser empregados, dependendo de fatores como o tamanho da edificação, sua funcionalidade e capacidade de ocupantes.

Seito *et al* [9] afirma que geralmente essa classe de proteção não possui nenhuma funcionalidade em uma situação normal de funcionamento da edificação, e além disso, cita como principais exemplos de sistemas utilizados a detecção e alarme manual ou automático de incêndio, a extinção manual e/ou automática de incêndio, a iluminação e sinalização de emergência, além do controle de movimento de fumaça. A partir disso, pode-se citar como exemplos de equipamentos pertencentes a esses sistemas os extintores (portáteis ou sobre rodas), hidrantes, mangotinhos, chuveiros automáticos ou sprinklers, espuma mecânica, alarmes de incêndio, iluminação de emergência, rotas de fuga, saídas de emergência, entre outros.

Figura 2 - Hidrante e extintores numa edificação



Fonte: SKOP (2019)

1.3.2 Proteções passivas

A NBR 14432 [8] define essa classe de proteção como sendo o conjunto de medidas incorporado ao sistema construtivo do edifício, sendo funcional durante o uso normal da edificação e que reage passivamente ao desenvolvimento do incêndio, não estabelecendo condições propícias ao seu crescimento e propagação. Tem como foco principal impedir o colapso estrutural da

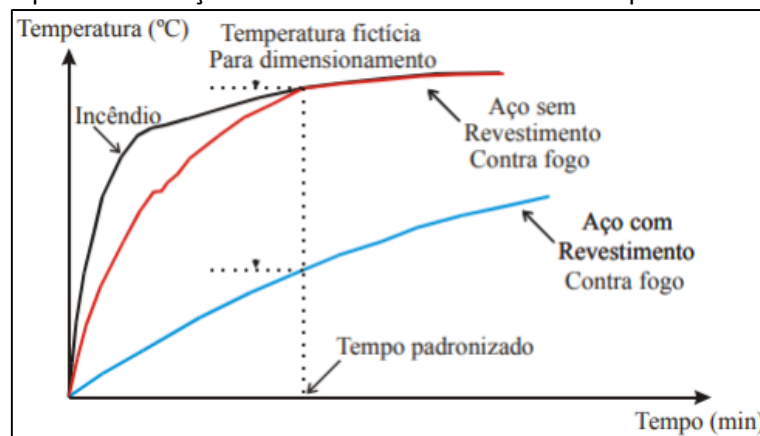
estrutura, facilitando a atuação do corpo de bombeiros e, conseqüentemente, a fuga dos ocupantes.

Tem-se diversos exemplos de medidas de proteção passiva que são utilizados nas edificações atualmente. Primeiramente, tem-se o isolamento de risco, que está diretamente ligado com a possibilidade de uma edificação que está sob ação do fogo influenciar as outras nas proximidades, para que essa também venha a sofrer com a problemática devido aos meios de transmissão de calor (radiação, convecção e condução), em que se pode isolar por meio do afastamento (distanciamento seguro) entre fachadas ou por meio de barreiras estanques.

Outra maneira de se praticar a proteção passiva é por meio da compartimentação, tanto horizontal quanto vertical, em que segundo o Corpo de Bombeiros de São Paulo [10] o foco nesse ponto é limitar o campo de alcance do incêndio, onde a compartimentação divide a edificação em células capacitadas a resistir a queima dos materiais combustíveis que estão ali presentes, impedindo que o fogo se propague. Alguns dispositivos utilizados nessa técnica são as portas corta-fogo, selagem corta-fogo de cabos elétricos, lajes corta-fogo, parapeitos em fachadas de edifícios, entre outros.

Por fim, outro tipo de proteção passiva utilizado em estruturas são os materiais de proteção térmica. Vargas e Silva [5] afirmam que essa classe de proteção é a solução mais frequentemente empregada para evitar o aumento excessivo da temperatura das estruturas de aço em situação de incêndio. Bernardes [7] cita que a utilização desse tipo de material ocorre quando a peça estrutural não resiste às solicitações de cálculo em situação de incêndio, ou seja, para o TRRF estabelecido por norma para a edificação, o aço irá atingir temperaturas que geram redução de sua resistência. Os revestimentos têm o objetivo de garantir que o aço tenha uma resistência de acordo com a solicitação que será gerada com o incêndio, por meio do resguardo térmico que ele gera no elemento metálico, mantendo tanto a integridade do material quanto a integridade da peça. A imagem a seguir representa o desempenho de um aço com e sem os materiais de proteção em sua superfície submetida ao fogo.

Figura 3 - Temperatura do aço com e sem revestimento térmico para a curva de incêndio



Fonte: Guimarães (2007)

Esses revestimentos necessitam de algumas propriedades, em que Vargas e Silva [5] indicam: Baixa massa específica; baixa condutividade térmica; alto calor específico; adequada resistência mecânica, quando expostos a impactos; garantia de integridade durante a evolução do incêndio; custo compatível. Alguns dos principais exemplos de materiais de proteção térmica encontrados

no mercado são as proteções passivas, argamassas projetadas, fibras projetadas, placas de lã de rocha, argamassas de vermiculita, mantas cerâmicas, entre outros, sendo os dois primeiros os mais comumente utilizados. Esses materiais, segundo Oliveira *et al* [11], sofrem reações químicas que absorvem uma parcela significativa da energia que seria destinada diretamente à estrutura ou levam a formação de uma nova interface de proteção térmica, garantindo o desempenho isolante quando estão submetidos a altas temperaturas.

1.4 Argamassa Projetada

A argamassa projetada é um material de proteção térmica muito utilizado em estruturas metálicas em função de seu baixo custo de aquisição em comparação a outros revestimentos. Pannoni [12] cita que esse material tem sua composição química composta basicamente por gesso (aproximadamente 80% do peso seco), cimento Portland (principalmente em materiais de média e alta densidade), resinas acrílicas e cargas inertes, por exemplo, poliestireno expandido, celulose, entre outros.

Vargas e Silva [5] afirmam que essa argamassa deve trabalhar monoliticamente com a estrutura e acompanhar seus movimentos, sem que ocorra fissuras ou desprendimento, formando um revestimento homogêneo e contínuo que penetre em todos os cantos ou reentrâncias da estrutura. O quesito de sua aplicação poder ocorrer por jateamento (massa é transportada até uma mangueira com o esguicho, em que o ar comprimido realiza o jateamento) já que segundo Pannoni [12] o material tem alto conteúdo de aglomerantes que, quando misturados com água, geram uma massa fluida que pode ser facilmente bombeada.

Figura 4 - Aplicação de argamassa projetada jateada



Fonte: ISOLAMENTO ACÚSTICO (2021)

Para que se possa utilizar o revestimento de maneira correta, garantindo a proteção da estrutura de aço, Vargas e Silva [5] listam uma série de especificações técnicas do material, tais como, não conter asbestos ou outro material agressivo à saúde dos usuários do edifício, nem apresentar desprendimento por ressecamento superficial ou por ação de correntes de ar, para não contaminar o ambiente. Juntamente a isso, é vital que não ocorra perda de material fixado na estrutura devido a ação direta do vento, uma vez que caso seja confirmada essa problemática, sabe-se que ele irá ter redução de sua espessura, não desempenhando a função para qual foi dimensionado. Para a aplicação, geralmente não é necessária a retirada da carepa de laminação e de alguma ferrugem formada, onde antes da projeção, faz-se uma limpeza manual, retirando-se o material solto sobre a superfície, conforme indicado por Pannoni [12]. Além disso, não se

deve conter espaços vazios entre os perfis e a argamassa, para impedir que insetos se instalem em seu interior, como indicado por Vargas e Silva [5], além de que também não se recomenda aplicar a argamassa em cima de aços pintados, para que se tenha uma melhor aderência. Seu tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) médio é de aproximadamente 240 minutos, sendo um dos revestimentos com maior potencial de proteção. A execução do material na estrutura geralmente é feita no local da obra, contudo, Seito *et al* [9] apresenta exemplos de aplicação off-site em alguns países da Europa. A maior problemática que se tem no uso das argamassas projetadas é seu apelo estético, uma vez que o revestimento tem aspecto de um chapisco rústico, não sendo ideais para locais com foco mais visual e decorativo numa construção, por isso, muitas vezes é utilizada em locais como garagens, e não em fachadas. Caso haja a necessidade de se fazer uma aplicação externa, recomenda-se a aplicação de produtos especiais ou tintas látex.

Figura 5 - Argamassa projetada aplicada em perfis metálicos



Fonte: PCF SOLUÇÕES EM ENGENHARIA (2023)

1.4 Tintas intumescentes

Esse revestimento de proteção térmica, segundo Vargas e Silva [5], é composta por polímeros com pigmentos que possuem propriedade de intumescência, em que esses componentes, por volta dos 200°C, expandem seu volume, formando uma espuma carbonácea rígida, que segundo Seito *et al* [9] alcança uma expansão acima de 60 vezes o volume original da tinta.

Regobello [13] indica que essa espuma, formada em consequência das resinas presentes na tinta, e que tem seus poros preenchidos por gases atóxicos, é o que garante a proteção do aço, dificultando o efeito da chama por meio do isolamento dos gases quentes gerados no incêndio, uma vez que nessa temperatura de ativação as propriedades do aço ainda não sofreram alterações significativas.

No processo de aplicação da tinta no perfil metálico, de acordo com Vargas e Silva [5], é necessária uma preparação da superfície da peça, em que devem ser removidas todas as substâncias estranhas como carepa de laminação, ferrugem antiga, utilizando abrasivos de natureza silicosa (areia) ou metálica (granalha de aço), impelidos por ar comprimido, através de bico apropriado. Contudo, o jateamento não retira graxas, gorduras e óleos que podem estar presentes na superfície da estrutura, então antes mesmo de se realizar a ação do abrasivo por meio de jato, deve-se retirar esses materiais para melhor aderência da tinta, por meio de

lixamento mecânico ou outra metodologia de limpeza. Feito isso, Regobello [13] indica que é necessária uma demão de um primer epóxi compatível no perfil, com espessura entre 50 e 60 μm . Após isso, aplica-se a tinta intumescente, com possibilidade de se utilizar instrumentos como spray, rolo lã de carneiro ou pincel no processo.

Figura 6 - Expansão volumétrica da tinta intumescente



Fonte: Mesquita *et al* (2005)

Vargas e Silva [5] também apresentam alguns cuidados durante a aplicação, tais como: Espessura máxima, por demão da película úmida, menor que 375 μm , se aplicada com pincel ou menor que 1500 μm se aplicada por spray; intervalo de 24 horas entre as demãos; mínimo de 3 dias para aplicação da tinta de acabamento. Aliado a isso, utiliza-se medidores de camadas de pintura que verificam se a espessura aplicada está de acordo com o projeto.

As tintas intumescentes são vendidas usualmente para que consigam proteger as estruturas para TRRF de 30, 60, 90 e 120 minutos, sendo os dois primeiros os mais vendidos, contudo, já existem marcas que vendem pinturas que resistem a 150 e 180 minutos.

Quando se fala nas vantagens de se utilizar esse material como revestimento térmico, pode-se citar o aspecto estético que é proporcionado pelo seu uso, com a possibilidade de ser empregada em diversos locais, com diversas cores, gerando um ambiente agradável e seguro para quem utiliza. Além do lado estético, ser um material que não contribui de maneira significativa para o aumento de peso na estrutura é considerado outro grande ponto positivo para que se utilize esse método construtivo. Como desvantagens, pode-se citar primeiramente o custo elevado em comparação a outros revestimentos, juntamente com um maior rigor no controle tecnológico de sua espessura.

Figura 7 - Aplicação de tinta intumescente



Fonte: PREVENFIRE (2019)

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Preparo dos perfis escolhidos para ensaio

A primeira etapa a ser realizada no trabalho foi a escolha dos perfis estabelecidos para o ensaio, sendo classificados como cantoneiras, U e I, com 4 exemplares por classificação, totalizando 12 corpos de prova.

O comprimento foi determinado em função da dimensão da prensa hidráulica presente no Laboratório de Concreto e Materiais de Construção, que fica localizado no NUTENGE – UEMA, onde os ensaios foram realizados, em que a mesma tem aproximadamente 30x30x30 cm, então estabeleceu-se o comprimento de 25 cm para os corpos de prova. Aliado a isso, utilizou-se 24 chapas de aço com dimensões 10x10 cm, no intuito de solda-las (12 no topo, 12 no fundo) nos perfis metálicos para garantir uma compressão mais uniforme das peças, uma vez que o corte para adequação a dimensão da prensa ocasionou algumas irregularidades nas extremidades dos corpos de prova que ficariam em contato com a máquina, possivelmente gerando esforços em direções não desejáveis.

Alguns desses perfis foram adquiridos em locais de descarte de resíduos (em função do custo elevado), e estavam com perceptível atuação de intempéries em suas superfícies. Para que se possa garantir a aplicação correta dos materiais de revestimento térmico, conforme explicitado por Vargas e Silva [5], é necessário realizar o tratamento dos mesmos. Primeiramente, aplicou-se um spray antiferrugem nos corpos de prova, que ficaram 24 horas sob ação do mesmo. Após essa etapa, foi realizada a escovação dos perfis por meio da escova com arame de aço para retirar o material oxidado, e por fim o lixamento das mesmas, para uma atuação mais direta e profunda no processo de limpeza, seguindo as recomendações normativas da NBR 15239 [14].

Figura 8 - Perfis escolhidos antes e durante tratamento manual



Fonte: Autor (2021)

Após todo o processo de tratamento manual para os corpos de prova, observou-se que alguns perfis ainda não estavam com o aspecto desejado relacionado a corrosão de sua superfície. A partir disso, iniciou-se então o tratamento de forma mecanizada dos elementos estruturais por meio do método de jateamento de areia, e com esse processo realizado, assegurou-se que os

corpos de prova estavam com sua superfície pronta para receber o material de proteção térmica.

Figura 9 - Jateamento de areia nos corpos de prova



Fonte: Autor (2021)

Feito esse processo, realizou-se uma medição por meio de paquímetro das dimensões dos perfis, para verificar se as mesmas variaram durante o processo, em que não se constatou tal problemática. As cantoneiras foram classificadas como de abas iguais, bitola de 2 polegadas com $\frac{1}{4}$ polegadas de espessura e 25 cm de comprimento. Já o perfil I foi classificado como de 3 polegadas com 6,38 mm de espessura na alma, e 25 cm de comprimento, enquanto o perfil U foi classificado como simples formado a frio, com largura da alma de 75,2 mm, largura da aba de 42,7 mm, espessura da alma e da aba de 3,5 mm. Por fim, realizou-se as soldas das chapas nos corpos de prova para gerar a uniformidade esperada na compressão.

Figura 10 - Perfis cantoneira, I e U usados nos ensaios



Fonte: Autor (2021)

2.2 Aplicação da tinta intumescente

Nessa etapa, foram escolhidos 6 perfis (2 cantoneiras, 2 perfis I e 2 perfis U) para que se pudesse aplicar a tinta intumescente pela empresa CKC DO BRASIL, especialista na área de proteção passiva contra incêndio. O envio dos perfis para essa empresa teve como motivação garantir um controle tecnológico rigoroso na aplicação da tinta, uma vez que caso o processo fosse realizado em outro lugar, tanto as etapas anteriores a aplicação do revestimento quanto a verificação das espessuras poderiam ter variabilidades relativas ao que é requerido para o ensaio.

Conforme já comentado, a etapa inicial do processo de utilização da tinta intumescente é a aplicação do primer, em que foi utilizado o primer anticorrosivo Hammerite, com a aplicação de uma demão que variou entre 80 a 100 microns, que é definida pelo próprio fabricante do produto.

Após isso, aguardou-se o tempo de intervalo necessário entre demãos e conseguiu-se iniciar a aplicação da pintura intumescente nos perfis. A tinta escolhida foi a Audax Renitherm PMA 600 HD, que garante o Tempo Requerido de Resistência ao Fogo de 30 e 60 minutos, dependendo da espessura a ser aplicada. Foi definido que a aplicação do revestimento ocorreria tanto para TRRF de 30 minutos quanto para os 60 minutos, assim, 3 corpos de prova tiveram aplicadas as respectivas espessuras para cada tempo. Essas espessuras relacionaram os valores apresentados pela carta de cobertura da fabricante do material com o fator de massividade calculado a partir das propriedades geométricas dos perfis pela equipe da empresa. Após a aplicação, ocorreu a verificação das espessuras aplicadas e os perfis foram identificados com as respectivas micragens utilizadas.

Figura 11 - Perfis com pintura intumescente



Fonte: Autor (2021)

2.3 Aplicação da argamassa projetada

O revestimento dos outros 6 perfis restantes com a argamassa projetada foi realizado pela empresa PCF SOLUÇÕES EM ENGENHARIA, especialista na área, para que novamente houvesse um maior controle tecnológico da aplicação, em função de seus equipamentos especializados. A argamassa projetada aplicada foi a Cafco 300, que tem como fabricante a ISOLATEK INTERNATIONAL. Essa argamassa admite espessuras máximas de 65 mm para vigas e 108 mm

para pilares, sendo esse intervalo de tamanho estipulado pela empresa na hora de se revestir os corpos de prova, em que o TRRF do material é de 240 minutos.

Figura 12 - Aplicação da argamassa projetada jateada



Fonte: Autor (2021)

2.4 Método de ensaio

No Brasil, ainda não há norma vigente que busque regulamentar a padronização de ensaios em perfis metálicos revestidos com materiais de proteção térmica sob ação do fogo e de cargas axiais, em que se analise o desempenho da proteção passiva. Além disso, existia uma limitação em relação aos laboratórios da Universidade Estadual do Maranhão para realizar os ensaios da maneira mais adequada. Em consequência dessas impossibilidades e falta de amparo normativo, elaborou-se um método específico para o presente experimento.

O objetivo do ensaio é analisar o desempenho de resguardo térmico que as proteções passivas oferecem para diferentes corpos de provas metálicos, que estão sob ação do fogo (simulando um incêndio) e de cargas de compressão. Para isso, a carga axial foi aplicada pela prensa presente no laboratório, e a o incêndio foi representado pelas chamas provenientes de um maçarico a base de gás butano. Definiu-se o posicionamento do termômetro industrial, modelo HIKKARI HT-550, que foi responsável pela leitura das temperaturas (seu máximo é de 550°C) dos ensaios na área de contato direta entre as chamas e o perfil ensaiado, e o posicionamento do termopar tipo K conectado ao leitor de temperatura Field Logger, que efetuou a leitura de temperatura da face que não sofreu a ação direta do fogo, sendo o mesmo fixado por uma haste.

2.4.1 Perfis sem revestimento térmico

Nessa etapa, realizou-se o ensaio em 6 perfis (2 de cada classificação) sem nenhum material de proteção térmica aplicado, para que se pudesse utilizar seus resultados como parâmetro de comparação inicial.

Após todo o posicionamento dos instrumentos e corpo de prova, iniciou-se um aquecimento prévio nos perfis por meio do maçarico durante um intervalo de tempo estabelecido, que foi de 30 segundos, e em seguida iniciou-se a aplicação da carga pela prensa hidráulica, onde a aplicação do fogo manteve-se simultânea as forças axiais que estavam ocorrendo. A coleta de temperaturas foi realizada durante todo o ensaio, em intervalos de tempo estipulados. Foi definido que o ensaio iria encerrar-se caso ocorresse uma das 3 situações a seguir, sendo elas: Caso ocorresse a ruptura ou flambagem do perfil devido à compressão; caso o perfil alcançasse

o limite de aplicação de carga da prensa (100 toneladas); caso o ensaio já estivesse ocorrendo por mais de 30 minutos. Em todos os casos, a flambagem foi a causa da interrupção do ensaio. Com esse processo ocorrido, foram anotados os resultados da carga resistente do perfil que foi indicada na prensa.

Figura 13 - Aplicação de fogo no perfil U durante ensaio



Fonte: Autor (2021)

2.4.2 Perfis com revestimento térmico

Para essa fase, 12 perfis foram ensaiados, sendo 6 revestidos com tinta intumescente e os outros 6 com a argamassa projetada. Todo o posicionamento dos perfis e instrumentação utilizada permaneceu a mesma que nos ensaios sem material de proteção aplicado.

Para a tinta intumescente, conforme já afirmado, 3 perfis estavam com revestimento de TRRF para 30 minutos e os outros 3 para 60 minutos. Para os perfis com tempo de resistência de 30 minutos, o aquecimento prévio teve duração de 10 minutos, e nos perfis com TRRF de 60 minutos, o aquecimento prévio foi de 15 minutos. Quando se fala da argamassa projetada, todos os 6 perfis tinham TRRF de 240 minutos, e com isso, novamente 3 deles tiveram aquecimento prévio de 10 minutos e os outros 3 de 15 minutos. Esse processo foi feito para que se pudesse realizar a comparação de um perfil com revestimento de proteção térmica que sofreu um maior tempo de contato com as chamas em relação a um perfil sem nenhuma proteção passiva, porém, sendo exposto ao fogo por um período de tempo inferior, como ocorreu nos ensaios anteriores, em que a exposição inicial foi de 30 segundos.

Após passado o tempo de aquecimento prévio, iniciou-se a aplicação da carga axial, em que a prensa foi ativada, e o fogo continuou sendo aplicado pelo maçarico, que realizou movimentos leves para que o aquecimento ocorresse nas 3 faces que deveriam ser expostas ao fogo. Também foi definido que o ensaio teria sua duração até que uma das 3 situações já apresentadas nos experimentos de perfis sem revestimentos ocorresse, onde para todos os corpos de prova o fenômeno de flambagem ocorreu, fazendo com que a prensa disparasse e não aplicasse mais carga de compressão no corpo de prova. As imagens a seguir apresentam as principais etapas no ensaio dos perfis com revestimento.

Figura 14 - Estágios de intumescência em perfil I



Fonte: Autor (2021)

Figura 15 - Aplicação de fogo em cantoneira com argamassa projetada



Fonte: Autor (2021)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Perfis sem revestimento

Conforme já explicitado, os ensaios realizados nos perfis sem proteção passiva tinham como função servir de parâmetro de comparação para os ensaios dos corpos de prova com os revestimentos, uma vez que seu aquecimento prévio foi de 30 segundos, ou seja, os perfis não atingiram temperaturas que diminuiriam sua rigidez e resistência, que segundo Pierin [15] giram torno dos 400°C para laminados e 200°C para formados a frio, simulando assim os efeitos de um incêndio em sua etapa inicial (ignição), que ainda manteria a estabilidade da edificação.

Em todos os perfis, as leituras realizadas pelo termômetro industrial são referentes a face em contato direto com as chamas, e as realizadas pelo termopar são referentes a face oposta a

chama dos perfis, conseqüentemente atingindo valores menores. A tabela a seguir apresenta os resultados desses ensaios, em que é possível observar que os perfis I são os mais resistentes, sendo um resultado esperado, tanto que essa classificação é comumente utilizada em vigas e colunas sob esforços de compressão.

Tabela 1 - Resultados dos ensaios em perfis sem revestimento

Perfis	Cant. 1	Cant. 2	I 1	I 2	U 1	U 2
Temp. máxima pelo termômetro (°C)	191.38	147.01	233.1	235.6	244.5	135.4
Temp. máxima pelo termopar (°C)	104.42	66.32	68.8	109.88	60.46	107.82
Tempo de ensaio (segundos)	60	90	120	120	60	50
Carga de ensaio (toneladas)	18.99	19.03	49.43	47.79	13.02	14.61
Média das cargas	19.01		48.61		13.82	

Fonte: Autor (2021)

3.2 Perfis com tinta intumescente

Os ensaios referentes aos perfis revestidos com a tinta intumescente ocorreram, conforme já citado, com cerca de 20 vezes mais tempo de aplicação das chamas em relação aos perfis sem proteção passiva, o que gerava a expectativa de se atingir temperaturas muito mais elevadas, que alterariam em grande proporção a resistência e rigidez do material caso não houvesse a pintura.

Foram aplicadas espessuras de tinta úmida (WFT) e seca (DFT) diferentes nos perfis, em função do seu fator de massividade, usando as fórmulas presentes no manual da Association for Specialist Fire Protection [16] e os conhecimentos práticos da empresa que revestiu os corpos de prova para que se alcançasse o TRRF de 30 e 60 minutos.

Tabela 2 - Resultados dos ensaios em perfis com tinta intumescente

Perfis	Cant. 1	Cant. 2	I 1	I 2	U 1	U 2
Espessura WFT de tinta (µm)	240	570	250	660	400	800
Espessura DFT de tinta (mm)	0.173	0.415	0.181	0.477	X	X
TRRF para a espessura (minutos)	30	60	30	60	30	60
Aquecimento prévio (segundos)	600	900	600	900	600	900
Temp. máxima pelo termômetro (°C)	550	550	550	550	550	550
Temp. máxima pelo termopar (°C)	164.75	135.72	160.22	131.39	149.93	121.82
Tempo de ensaio (segundos)	660	918	660	940	612	930
Carga de ensaio (toneladas)	18.13	15.57	59.3	43.88	14.11	13.93

Fonte: Autor (2021)

Primeiramente, falando sobre a espessura de tinta aplicada nos perfis U, a fornecedora da tinta indicou, em seus cálculos, um determinado fator de massividade considerando as suas especificações de uso. A partir desse valor, quando se observa a carta de cobertura da tinta, percebe-se que a mesma não possui valores de espessuras para essa massividade. Em função dessa situação, a título experimental, utilizou-se na aplicação da tinta intumescente do perfil U a espessura úmida WFT de 400 microns para TRRF de 30 minutos e de 800 microns para 60 minutos.

Observa-se que as temperaturas máximas lidas pelo termômetro ficaram em 550°C, já que esse é a maior leitura que o instrumento atinge. Porém, grande parte desses valores foram atingidos em torno de 420 segundos de ensaio, podendo-se inferir que temperaturas mais elevadas foram atingidas, já que os perfis foram aquecidos por mais tempo. Apesar disso, quando se calcula a razão entre a carga resistente do perfil com a pintura em relação a média das cargas resistentes dos perfis sem revestimento, observa-se que o menor valor é o da carga do perfil cantoneira 2 (155,7 KN), que é equivalente a 81,90% da carga média das cantoneiras sem material de proteção térmica (190,01 KN), em que pode-se considerar esse valor como aceitável em função da quantidade a mais de fogo aplicado nos perfis com a tinta, onde o material garantiu a proteção das peças.

3.3 Ensaios com argamassa projetada

Conforme já explicitado, para os ensaios da argamassa projetada utilizou-se a mesma metodologia de aquecimento prévio e medição que os perfis revestidos com a tinta intumescente. As espessuras aplicadas seguiram as recomendações do manual do fabricante, para que se garantisse o TRRF de 240 minutos. A tabela a seguir apresenta os resultados desses experimentos.

Tabela 3 - Resultados dos ensaios nos perfis com argamassa projetada

Perfis	Cant. 1	Cant. 2	I 1	I 2	U 1	U 2
Aquecimento prévio (segundos)	600	900	600	900	600	900
Temp. máxima pelo termômetro (°C)	550	550	550	550	550	550
Temp. máxima pelo termopar (°C)	42.96	40.59	32.77	31.33	52.02	45.02
Tempo de ensaio (segundos)	622	915	616	972	611	912
Carga de ensaio (toneladas)	19.06	18.98	41.36	50.02	14.77	14.65

Fonte: Autor (2021)

É importante frisar uma possível interferência nos resultados dessa fase dos ensaios. De acordo com o manual da Cafco 300 (marca da argamassa aplicada) é necessário um tempo de cura entre 15 e 20 dias após a aplicação, para que ela exerça sua missão de maneira correta e segura. Contudo, em função de fatores externos, não foi possível cumprir essa recomendação de forma integral, o que fez com que a argamassa ainda estivesse um pouco úmida durante os ensaios. Além disso, esse material não resiste bem a impactos mecânicos, e em função do traslado do Maranhão até São Paulo ocorreram pequenos desprendimentos do revestimento nos perfis. Dito isso, e observando os resultados, percebe-se que as temperaturas também atingiram 550°C, o que novamente causaria a alteração das propriedades do aço caso não houvesse o revestimento, onde a argamassa projetada garantiu que a menor redução de carga em relação as peças com e sem esse material ocorresse no perfil I 1 (413,6 KN), que equivale a 85,09% da carga média dos perfis do mesmo tipo, mas sem proteção (486,1 KN), sendo um valor aceitável para as temperaturas alcançadas. Além disso, grande parte das cargas de ensaio foram superiores as cargas que ocorreram na pintura intumescente, em função da argamassa ter sido aplicada para maiores TRRF, comprovando também essa especificidade do material. Deve-se novamente salientar que as temperaturas medidas ainda podem ter sido maiores, visto que pelo material estar úmido, a leitura provavelmente sofreu alterações, que não impactaram de maneira significativa no objetivo final do trabalho.

4 CONCLUSÃO

A pesquisa teve como intuito analisar o desempenho da tinta intumescente e da argamassa projetada jateada revestindo diferentes classificações de perfis de aço sob ação do fogo e de cargas axiais de compressão. O comparativo principal do trabalho foi verificar se os corpos de provas metálicos sem a proteção passiva e que tiveram a atuação reduzida das chamas resistiriam a cargas de compressão similares aos perfis metálicos que tinham o revestimento térmico aplicado, porém expostos à ação do fogo em intervalos de tempo mais prolongados, analisando a equivalência de cargas entre esses resultados.

Conforme apresentado no trabalho, haviam diversas variáveis a serem controladas nos ensaios, o que gerou possíveis variabilidades em resultados. Primeiramente, tem-se a movimentação do único maçarico que fornecia o fogo ao experimento, para que se pudesse aquecer ambas as faces. Além disso, a não padronização do calor, visto que não se tinha estrutura para simular uma das curvas de incêndio da literatura, é outro fator que deve ser considerado na análise dos resultados. Juntamente a isso, pequenas movimentações do termopar e a leitura limitada do termômetro industrial podem ter causado pequenas diferenças no trabalho. Por fim, a problemática na cura da argamassa é outro ponto a ser considerado.

Dito isso, observa-se que quase todos os perfis com argamassa projetada tiveram cargas iguais ou superiores ao valor médio resistente dos corpos de prova sem revestimento, enquanto 3 dos 6 perfis com tinta intumescente obtiveram esse resultado. Dados informados dessa maneira podem levar a conclusões precipitadas, por exemplo, que a argamassa é totalmente melhor que a pintura. Porém, é necessário observar que as espessuras de tinta utilizadas garantiam o TRRF de até 60 minutos, enquanto a argamassa garantia até 240 minutos de proteção, ou seja, era esperado que a mesma suportasse mais cargas. Porém, conforme já dito, ocorreram problemas na aplicação da argamassa projetada, que ocasionou a cura em menor intervalo de tempo e desprendimento do material, além de espessuras de aplicação não uniformes, o que leva a se prever que os resultados da argamassa poderiam ter sido ainda melhores.

Focando no aspecto visual dos materiais de proteção térmica após o ensaio, observou-se que para as tintas, a intumescência esteve mais atuante nos perfis previamente aquecidos por 15 minutos, sendo esses mais desgastados que os aquecidos por 10 minutos, o que era esperado pelo maior contato com as chamas. Essa mudança de aspecto não foi tão atuante nos perfis com argamassa projetada onde para ambos os tempos o aspecto queimado se manteve, porém em proporções iguais. Enquanto na tinta intumescente não ocorreu nenhum desprendimento após os ensaios, a argamassa passou por essa situação em alguns perfis, o que pode comprometer a segurança em caso de um incêndio real, contudo, é novamente necessário a situação de cura em tempo diferente do previsto que ocorreu no material.

Por fim, conclui-se que mesmo com a interferência de algumas variáveis, o comparativo final foi verificado com sucesso, uma vez que as menores razões entre cargas nos perfis com e sem revestimento foram de 81,90% para tinta (cantoneira 2) e 85,09% para argamassa (perfil I 1), o que comprova o quão efetivo os materiais de proteção térmica são na prevenção de incêndios em estruturas metálicas.

Agradecimentos

A empresa CKC DO BRASIL e ao Rogerio Lin pela aplicação das tintas intumescentes. A PCF Soluções em Engenharia pela aplicação da argamassa projetada. A UEMA e a Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação pela bolsa de iniciação científica disponibilizada.

REFERÊNCIAS

- [1] Michele Mendonça Martins. Dimensionamento de estruturas de aço em situação de incêndio (Dissertação - Mestrado em Engenharia de Estruturas). Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais; 2020
- [2] 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: ABNT; 2013.
- [3] El País. Edifício desaba durante incêndio em Teerã e ao menos 20 bombeiros ficam soterrados. 20 Jan 2017. In: El País [Internet]. São Paulo: El País. 2017. Disponível em: <https://brasil.elpais.com/brasil/2017/01/19/internacional>.
- [4] Embassy. Prédio desaba em Teerã e mata mais de 20 bombeiros. 19 Jan 2017. In: Embassy [Internet]. Brasília: Embassy. 2017. Disponível em: <https://embassynews.info/predio-desaba-em-teera-e-mata-mais-de-20-bombeiros/>.
- [5] Mauri Resende Vargas; Valdir Pignatta e Silva. Resistência ao fogo das estruturas de aço. Rio de Janeiro: IBS/CBSA; 2005.
- [6] 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: ABNT; 2008.
- [7] Guilherme Franco Bernardes. Dimensionamento em situação de incêndio de perfis em aços estruturais convencionais e aços resistentes ao fogo (Dissertação - Mestrado em Engenharia de Estruturas). Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais; 2002.
- [8] Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 14432: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT; 2000.
- [9] Alexandre I. Seito. *et al.* A segurança contra incêndio no Brasil. São Paulo: Projeto Editora; 2008.
- [10] Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo. Vade Mecum: Segurança contra incêndio. São Paulo: Europa; 2020.
- [11] R. B. R. S. Oliveira. *et al.* Tinta intumescente como revestimento de proteção ao fogo. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais. 2017; v. 10: p. 220-231.
- [12] Fábio Domingos Panonni. Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio. 4º ed. [s.l.]: Gerdau; 2007.
- [13] Ronaldo Regobello. Análise numérica de seções transversais e de elementos estruturais de aço e mistos de aço e concreto em situação de incêndio (Dissertação - Mestrado em Engenharia de Estruturas). São Paulo: Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo; 2007.



[14] Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 15239: Tratamento de superfícies de aço com ferramentas manuais e mecânicas. Rio de Janeiro: ABNT; 2005.

[15] Igor Pierin. A instabilidade de perfis formados a frio em situação de incêndio (Tese - Doutorado em Engenharia). São Paulo: Universidade de São Paulo; 2011.

[16] Association for Specialist Fire Protection. Fire protection for structural steel in buildings. 3. ed. Berks: Steel Construction Institute; Warrington: The Fire Test Study Group; 2004.