

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**Escola de Engenharia**  
**Curso de Especialização: Produção e Gestão do**  
**Ambiente Construído**

**Caio Augusto Ribeiro Moreira**

**SISTEMAS DE PROTEÇÃO EM ESTRUTURAS**  
**METÁLICAS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO**

**Belo Horizonte,**  
**2019**

**CAIO AUGUSTO RIBEIRO MOREIRA**

**SISTEMAS DE PROTEÇÃO EM ESTRUTURAS  
METÁLICAS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Especialização: Produção e Gestão do Ambiente Construído do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

**Orientador: Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior**

**Belo Horizonte,  
2019**

M838s

Moreira, Caio Augusto Ribeiro.

Sistemas de proteção em estruturas metálicas em situação de incêndio [manuscrito] / Caio Augusto Ribeiro Moreira. – 2019. 41 f., enc.: il.

Orientador: Antônio Neves de Carvalho Júnior.

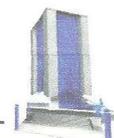
“Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Produção e Gestão do Ambiente Construído da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais”

Anexos: f. 42-43.

Bibliografia: f. 39-40.

1. Construção civil. 2. Estruturas metálicas. 3. Aço. 4. Prevenção de incêndio. I. Carvalho Júnior, Antônio Neves de. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 69



## ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA

ALUNO: CAIO AUGUSTO RIBEIRO MOREIRA

MATRÍCULA: 2018691141

### RESULTADO

Aos 19 dias do mês de fevereiro de 2019 realizou-se a defesa da MONOGRAFIA de autoria do aluno acima mencionado sob o título:

“SISTEMAS DE PROTEÇÃO EM ESTRUTURAS METÁLICAS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO”

Após análise, concluiu-se pela alternativa assinalada abaixo:

APROVADO

APROVADO COM CORREÇÕES

REPROVADO

NOTA: 8,5

CONCEITO: B

### BANCA EXAMINADORA:

Nome

Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior

Assinatura

Nome

Prof. Dr. Eduardo Chahud

Assinatura

O candidato faz jus ao grau de "ESPECIALISTA NA ÁREA DE "TECNOLOGIA E GESTÃO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO"

Belo Horizonte, 19 de fevereiro de 2019

Coordenador do Curso  
Prof. Antonio Neves  
de Carvalho Júnior  
Coordenador do Curso

## **DEDICATÓRIA**

À Flávia, minha esposa, pessoa com quem amo partilhar a vida. Com você tenho me sentido mais vivo. Obrigado pelo carinho, a paciência e por sua capacidade de me trazer paz na correria de cada semestre.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus que me abençoou me dando forças para que pudesse alcançar todos os meus objetivos.

Agradeço de forma especial ao meu pai Antonio Moreira, à minha mãe Claudia Marcia e ao meu irmão Rhyan Ribeiro, por não medirem esforços para que eu pudesse levar meus estudos adiante.

À minha amiga Lais Stephanie, que me incentivou a entrar no curso, que me apoiou durante os semestres e teve sempre muita paciência.

Ao meu amigo Fernando Oliveira, que foi fundamental para que chegasse até aqui.

Aos amigos, que também sempre me apoiaram nessa jornada.

A esta universidade e todo seu corpo docente, além da direção e a administração, que realizam seu trabalho com tanto amor e dedicação, trabalhando incansavelmente para que nós, alunos, possamos contar com um ensino de extrema qualidade.

Enfim, muito obrigado a todas as pessoas que de uma alguma forma me ajudaram a acreditar em mim eu quero deixar um agradecimento eterno, porque sem elas não teria sido possível.

## EPÍGRAFE

*“Ora, a fé é o firme fundamento das coisas que se esperam, e a prova das coisas que se não veem.” Hebreus 11:1*

## RESUMO

*Desde a Revolução Industrial, o aço tem sido amplamente utilizado como elemento estrutural em todos os tipos de edificações. Os elementos estruturais em aço apresentam boas características, como alta resistência mecânica, rapidez na execução e leveza, porém quando expostos a uma situação de incêndio perdem significativamente seu módulo de elasticidade e resistência, comprometendo a segurança das pessoas. Para solucionar este problema, é necessário dimensionar sistemas de proteção passiva que aumentem o tempo de resistência ao fogo das peças. Este trabalho tem por objetivo realizar um estudo sobre os principais métodos de proteção de estruturas metálicas em situação de incêndio utilizados no Brasil, bem como realizar um estudo comparativo destes métodos. Utilizou-se a pesquisa do tipo bibliográfica, trazendo de forma objetiva e clara o que diversos autores já abordaram sobre esta temática. Atualmente, muitos são os tipos de sistemas de revestimentos para proteção das estruturas metálicas, percebe-se a diferença no modo de aplicação, sendo alguns projetados, outros aplicados com a ajuda de pincel ou rolo, como as tintas intumescentes, ou ainda, fixado junto às estruturas, como as placas de gesso acartonado. Contudo, a melhor escolha depende da característica de cada edificação, do acabamento desejado e do custo.*

**Palavras-chave:** Proteção contra o fogo. Estruturas metálicas. Aço.

# SUMÁRIO

|  |     |
|--|-----|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....   | 102 |
| <b>2. OBJETIVOS</b> .....  | 14  |
| 2.1 OBJETIVO GERAL .....   | 14  |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....  | 14  |
| <b>2. JUSTIFICATIVA</b> .....  | 15  |
| <b>3. METODOLOGIA</b> .....  | 17  |
| <b>4. HISTÓRICO</b> .....  | 18  |
| <b>5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....  | 21  |
| 5.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....  | 21  |
| 5.2. FUNCIONAMENTO DO FOGO .....   | 22  |
| 5.3. CARACTERÍSTICAS DO AÇO .....  | 24  |
| 5.4. PROTEÇÃO DO AÇO .....   | 27  |
| <b>6. MATERIAIS DE PROTEÇÃO</b> .....  | 27  |
| 6.1. TINTAS INTUMESCENTES .....  | 28  |
| 6.2. MATERIAIS PROJETADOS .....  | 30  |
| 6.3. PLACAS DE GESSO ACARTONADO .....  | 33  |
| 6.4. PLACAS DE LÃ DE ROCHA .....   | 34  |
| <b>7. COMPARAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS DE PROTEÇÃO</b> .....                         | 36  |
| <b>8. CONSIDERAÇÕES SOBRE PROTEÇÃO CONTRA FOGO EM PIPE RACKS METÁLICOS</b> ..... | 37  |
| <b>9. CONCLUSÃO</b> .....  | 39  |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....  | 40  |
| <b>ANEXO A – TEMPO REQUERIDO DE RESISTÊNCIA AO FOGO (TRRF)</b> .....             | 42  |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1-</b> Número de mortes no Brasil devido à exposição a fogo não-controlado em um edifício ou outro tipo de construção ..... | 15 |
| <b>Figura 2</b> - Edifício de estrutura mista atingido pelo incêndio em São Francisco.....  | 18 |
| <b>Figura 3</b> - Vigas em aço do Edifício Bressmer retorcidas após incêndio .....  | 19 |
| <b>Figura 4-</b> Flambagem em pilar.....  | 19 |
| <b>Figura 5</b> - Escombros do Edifício Wilton Paes de Almeida.....   | 20 |
| <b>Figura 6</b> – Tetraedro do fogo .....   | 22 |
| <b>Figura 7</b> – Características de um incêndio .....  | 23 |
| <b>Figura 8</b> – Elemento de aço carbonizado ao ser exposto ao fogo .....  | 25 |
| <b>Figura 9</b> – Spalling em elemento de concreto exposto ao fogo .....  | 25 |
| <b>Figura 10</b> – Elemento de aço exposto ao fogo .....  | 25 |
| <b>Figura 11</b> – Resistência relativa dos materiais em função da temperatura .....  | 26 |
| <b>Figura 12</b> – Módulo de elasticidade relativo dos materiais em função da temperatura .....                                       | 26 |
| <b>Figura 13</b> – Tinta intumescente exposta ao fogo.....  | 28 |
| <b>Figura 14</b> – Aplicação de argamassa projetada .....   | 31 |
| <b>Figura 15</b> – Fixação da placa de gesso acartonado na estrutura.....   | 33 |
| <b>Figura 16</b> – Fixação das placas de de lã de rocha.....  | 35 |
| <b>Figura 17</b> – Pipe Rack.....   | 37 |
| <b>Figura 18</b> – Colapso em Pipe Rack devido a incêndio .....   | 38 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabela 1</b> – Fases da evolução de um incêndio.....  | 24 |
| <b>Tabela 2</b> – Principais tintas intumescentes utilizadas no Brasil .....   | 29 |
| <b>Tabela 3</b> - Espessura (mm) de tinta intumescente, catálogo Nullifire, para $\theta_{cr}=550^{\circ}\text{C}$<br>.....      | 29 |
| <b>Tabela 4</b> - Espessura (mm) de tinta intumescente, catálogo Tintas Calamar, para<br>$\theta_{cr}=550^{\circ}\text{C}$ ..... | 30 |
| <b>Tabela 5</b> – Mínimos recomendados das propriedades físicas das fibras projetadas  | 31 |
| <b>Tabela 6</b> – Principais fibras projetadas utilizadas no Brasil .....  | 32 |
| <b>Tabela 7</b> - Espessura (mm) da argamassa pré-fabricada Termosist G, para<br>$\theta_{cr}=550^{\circ}\text{C}$ .....         | 32 |
| <b>Tabela 8</b> - Espessura (mm) do painel Thermax-PEM em função de F e do TRRF,<br>para $\theta_{cr}=550^{\circ}\text{C}$ ..... | 34 |
| <b>Tabela 9</b> - Espessura (mm) do painel Thermax-PEM em função de F e do TRRF,<br>para $\theta_{cr}=550^{\circ}\text{C}$ ..... | 35 |
| <b>Tabela 10</b> – Comparação entre os materiais de proteção contra o fogo para<br>estruturas metálicas .....                    | 36 |

## 1. INTRODUÇÃO

Os incêndios sempre representaram um risco às edificações e à população. Quando o incêndio ocorre de forma descontrolada pode ocasionar consequências devastadoras.

As estruturas de aço são amplamente utilizadas na construção de edifícios devido à sua elevada resistência mecânica, boa ductilidade e rápida execução da obra. No entanto, devido à deterioração das propriedades mecânicas com a temperatura, é fundamental que toda a estrutura, e os seus elementos, possuam a resistência necessária para prevenir um eventual colapso causado pela ocorrência de um incêndio (Mesquita *et.al.*, 2005).

Segundo Basso (2016) o metal é um material que quando em altas temperaturas em um primeiro momento gera tensões indesejadas devido a sua expansão térmica e, após aumentar a temperatura, tende a se plastificar, perdendo suas propriedades como elemento estrutural. Conhecendo este comportamento é que se faz necessária uma proteção contra a ação do fogo, tendo em vista que sua negligência pode acarretar desastres.

A resistência do aço a temperaturas elevadas encontra-se definida com grande detalhe, sendo conhecido que a 550 [°C] o aço estrutural possui somente 60 % da sua capacidade resistente à temperatura ambiente (PINTO, 2008).

Assim, o presente trabalho se justifica pela crescente preocupação quanto ao desempenho das estruturas metálicas quando submetidas ao incêndio. Com isto é possível observar diversos sistemas de proteção no mercado da construção civil, onde cada um apresenta suas peculiaridades de aplicação e formas de proteger a estrutura.

Para que se possa verificar a segurança estrutural em situação de incêndio dos elementos estruturais de aço de uma edificação, é necessário conhecer a exigência de resistência ao fogo para cada tipo de elemento estrutural que compõe a edificação (viga, pilar, laje), conforme as normas vigentes no país. As Normas Brasileiras que tratam da segurança estrutural frente ao fogo foram aprovadas em 1999. São elas: NBR 14432 "Exigências de Resistência ao Fogo de Elementos Construtivos de Edificações Procedimento" e NBR 14323 "Dimensionamento de Estruturas de Aço de Edifícios em Situação de Incêndio Procedimento". O desempenho requerido para os materiais de construção estrutural (concreto, madeira ou aço) ou de compartimentação prescritos na NBR 14432 trata de prevenir o colapso estrutural,

tornando possível a retirada dos ocupantes, de reduzir os danos às propriedades vizinhas e permitir o rápido acesso do Corpo de Bombeiros.

Neste cenário, uma diversidade de materiais, que ajudam a garantir o tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) da estrutura surgiu no mercado como alternativa de proteção da estrutura metálica à ação do fogo. Esses tipos de sistemas de proteção são classificados como passivos, que são medidas incorporadas ao sistema construtivo e que visam reduzir a probabilidade de colapso das estruturas sempre que ocorra um incêndio.

Os sistemas passivos atuam durante o uso normal da edificação onde em caso de incêndio evitam a propagação e o desenvolvimento das chamas, entre os materiais mais comuns temos o uso de tintas intumescentes, argamassa projetada, placas de gesso acartonado.

Diante do que foi exposto, este trabalho apresenta um levantamento e análise de algumas das soluções usadas para a proteção das estruturas em aço no Brasil. São apresentadas considerações sobre as tendências de uso para garantir a proteção.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Realizar um estudo sobre os principais métodos de proteção de estruturas metálicas em situação de incêndio utilizados no Brasil.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

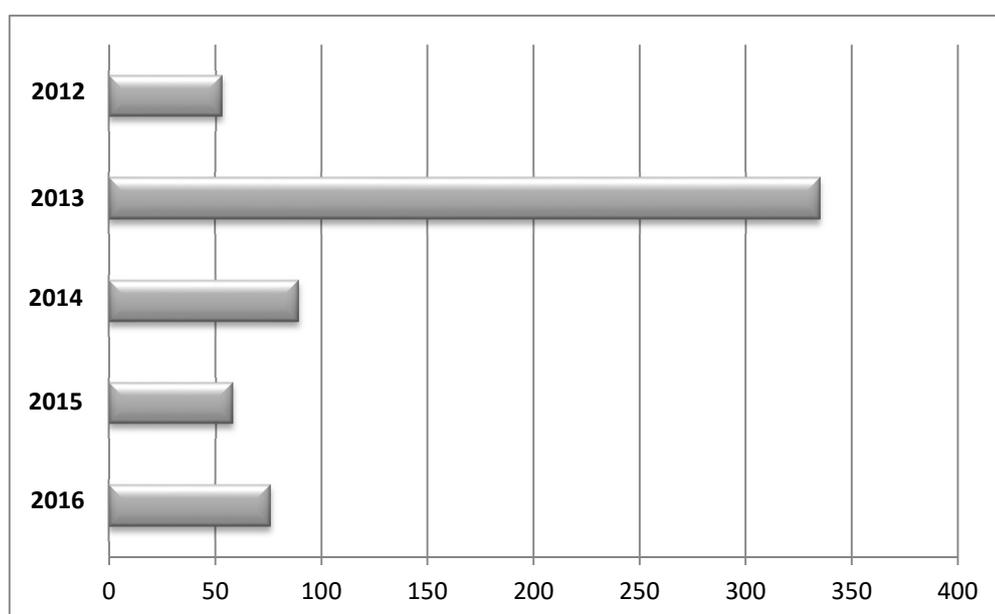
- Realizar revisão bibliográfica em normas e trabalhos técnico-científicos que abordem proteção para as estruturas metálicas quando expostas ao incêndio;
- Comparar diferentes tipos de sistemas de proteção passiva;

## 2. JUSTIFICATIVA

A segurança contra incêndio deve ser vista como um assunto de cunho científico, ou seja, envolve estudo, pesquisa e desenvolvimento constante. Alguns países já investem recursos e esforços para avançarem nesta ciência. Podemos perceber isto em países da Europa, nos Estados Unidos e no Japão.

O Brasil ainda avança de forma tímida quando o assunto é segurança contra incêndio, apenas quando grandes catástrofes acontecem, as autoridades competentes tratam de analisar normas e intensificar as fiscalizações. Além disso, a população em geral não é instruída em como agir em uma situação de incêndio, não há realizações de campanhas e treinamentos para a educação pública para este assunto.

A cada ano o incêndio leva várias pessoas à morte, conforme pode ser observado na Figura 1, a qual apresenta o número de mortes no Brasil devido à exposição a fogo não-controlado em um edifício ou outro tipo de construção, segundo o Sistema de dados do Ministério da Saúde. Em alguns anos, quando ocorrem grandes tragédias, percebe-se um aumento significativo do número de mortes, como no ano de 2013, quando ocorreu o incêndio na Boate Kiss e mais de 200 pessoas morreram.



**Figura 1-** Número de mortes no Brasil devido à exposição a fogo não-controlado em um edifício ou outro tipo de construção

Fonte: Sistema de Dados do Ministério da Saúde (DATASUS)

Uma edificação deve oferecer a segurança necessária aos seus usuários, para isso devem conter os sistemas de proteção contra incêndio necessários, de acordo com as características da edificação, tais como área, uso e altura. Alguns exemplos muito comuns de sistemas de proteção são extintores, hidrantes, alarmes de incêndio e chuveiros automáticos. Mas não se pode ignorar os sistemas que agem passivamente, ou seja, incorporados ao sistema construtivo do edifício, como saídas de emergência, paredes resistentes ao fogo e segurança estrutural.

Quando estudamos a segurança estrutural, temos que considerar o comportamento dos diversos tipos de materiais empregados com o uso estrutural atualmente. Independente do material é certo que quando exposto ao fogo haverá perda de sua resistência. Porém, o aço ao analisarmos os dados e os recentes acontecimentos podemos observar que, quando se trata de segurança contra incêndio, percebe-se ainda no Brasil a falta de atenção de autoridades governamentais para o assunto e o conseqüente desinteresse pela abordagem do tema pela sociedade em geral, inclusive em instituições de ensino. A segurança em edificações nunca deve deixar de ser um assunto de discussão e abordagem no meio acadêmico, pois envolve a preservação da vida dos usuários que constantemente a utilizam.

### **3. METODOLOGIA**

Nesta monografia utilizou-se, unicamente, a pesquisa do tipo bibliográfica, que segundo Fonseca (2002) “é feita a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios escritos e eletrônicos, como livros, artigos científicos, páginas de web sites.”

Para o desenvolvimento dessa pesquisa bibliográfica, seguiram-se algumas das etapas sugeridas por Prodanov e Freitas (2013), listadas abaixo:

1. Escolha do tema;
2. Levantamento bibliográfico preliminar;
3. Formulação do problema;
4. Busca das fontes;
5. Leitura do material;
6. Fichamento;
7. Organização lógica do assunto;
8. Redação do texto.

Foram utilizadas nesta pesquisa trabalhos acadêmicos, como monografias, dissertações e artigos, adquiridos através portais de buscas de periódicos, ou seja, bibliotecas virtuais que disponibilizam materiais científicos. Além disso, foram utilizados manuais, livros e normas técnicas nacionais.

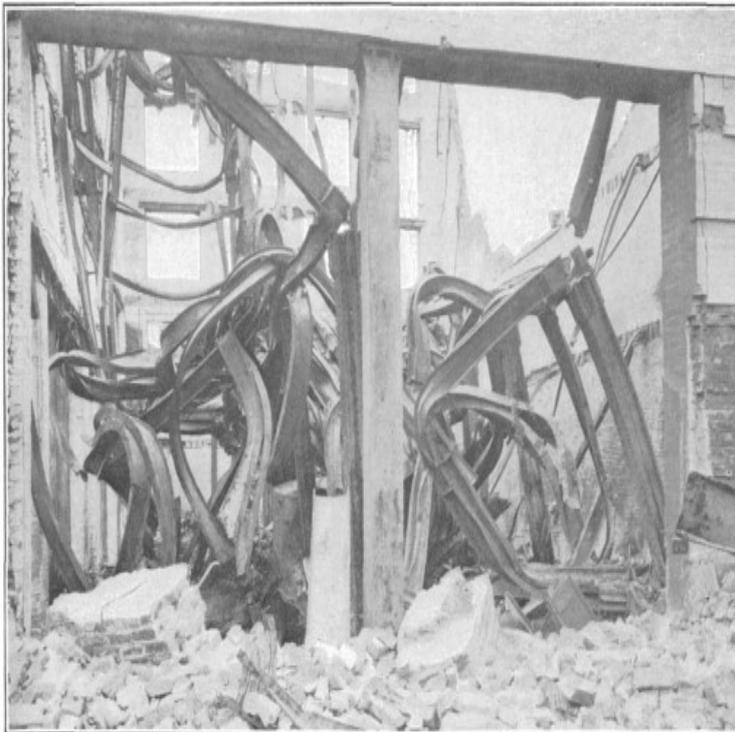
## 4. HISTÓRICO

Há registros da utilização do aço como elemento estrutural combinado a outros materiais desde o Século XVIII, com a Revolução Industrial, tendo a finalidade de substituir as estruturas de madeiras até então utilizadas. Os edifícios construídos completamente em madeira, combinados ao óleo das fábricas e materiais inflamáveis, geraram grandes incêndios e despertaram o uso de novas técnicas.

Nos Estados Unidos, o primeiro edifício em estruturas metálicas foi inaugurado em 1885, pertencente à The Home Insurance Company. Suas lajes eram em perfis metálicos protegidos da ação do fogo por concreto e tijolos cerâmicos. Em 1948, o engenheiro alemão E. Morsch publica um estudo alertando sobre a verificação da armadura de estruturas de concreto armado em situação de incêndio.

Ao longo dos anos, alguns incêndios de grande proporção mostraram na prática o comportamento dos elementos estruturais em aço quando expostos ao fogo. Os primeiros registros surgem no início do século XX e ainda hoje, mais de cem anos depois, ainda não há a preocupação da proteção das estruturas metálicas, causando perdas irreparáveis de vidas e bens.

A seguir, serão apresentados os principais incêndios ocorridos nacionalmente e internacionalmente que revelam a preocupação que deve ser dada ao tema.



**Figura 2** - Edifício de estrutura mista atingido pelo incêndio em São Francisco

### - São Francisco, 1906:

Devido a um terremoto ocorrido na cidade de São Francisco, fios elétricos se romperam e entraram em contato com gases combustíveis que escaparam das tubulações, gerando um incêndio que devastou toda a cidade. Conforme Figura 2, é possível observar o dano causado ao edifício de estrutura mista..

- **Edifício comercial da John W. Bressmer, 1948:** A empresa Bressmer, situada na cidade de Springfield, no estado de Massachusetts, nos Estados Unidos. No ano de 1948, no dia 2 de maio, um incêndio se alastrou pelo edifício da empresa, provavelmente por ter sido atingido por um raio. As vigas em aço se desestabilizaram, enquanto os pilares em aço permaneceram praticamente intactos.



**Figura 3** - Vigas em aço do Edifício Bressmer retorcidas após incêndio

Fonte: <https://www.metabunk.org>



**Figura 4-** Flambagem em pilar

Fonte: <https://zonaderisco.blogspot.com>

- **Edifício Grande Avenida, São Paulo, 1981:** A possível causa do incêndio foi devido a um curto circuito em um dos andares. O edifício teve 20 dos seus 23 andares completamente destruídos. Neste incêndio, centenas de pessoas ficaram feridas e 17 pessoas morreram. A Figura 4 mostra o comportamento do pilar de concreto armado frente ao fogo. O aço sofreu dilatação, comprometendo a estabilidade do edifício.

- **Edifício comercial Wilton Paes de Almeida, 2018:** O edifício de 24 andares foi construído no ano de 1960 para uso comercial, porém nos últimos anos encontrava-se ocupado por pessoas sem moradia. Em 2018, um incêndio tomou conta do prédio, e por ser de estrutura mista, as peças metálicas se colapsaram, restando apenas os escombros, conforme Figura 5.



**Figura 5** - Escombros do Edifício Wilton Paes de Almeida

Fonte: Folha de São Paulo

## 5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 5.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os principais objetivos da segurança contra incêndio são minimizar o risco à vida e reduzir a perda patrimonial. Segundo Seito et al. (2008) os requisitos funcionais que um edifício deve atender são:

- a) dificultar a ocorrência do princípio de incêndio.
- b) ocorrido o princípio de incêndio, dificultar a ocorrência da inflamação generalizada do ambiente.
- c) possibilitar a extinção do incêndio no ambiente de origem, antes que a inflamação generalizada ocorra.
- d) instalada a inflamação generalizada no ambiente de origem do incêndio, dificultar a propagação para outros ambientes.
- e) permitir a fuga dos usuários do edifício.
- f) dificultar a propagação do incêndio para edifícios adjacentes.
- g) manter o edifício íntegro, sem danos, sem ruína parcial e/ou total.
- h) permitir operações de natureza de combate ao fogo e de resgate/salvamento de vítimas.

Tendo em vista isso, uma edificação deve resistir um período de tempo considerável ao fogo sem se colapsar, a fim de que as pessoas que estão dentro dela possam sair e profissionais capazes de extinguir o fogo, como bombeiros, possam entrar.

A NBR 14432, intitulada como “Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento.” Determina e define o tempo mínimo de resistência ao fogo de uma estrutura. Segundo essa NBR, o tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) é o tempo mínimo de resistência ao fogo de um elemento construtivo quando sujeito ao incêndio-padrão.

O TRRF de uma estrutura pode ser determinado de forma tabular, em minutos, de acordo com a ocupação/uso e altura da edificação, conforme Anexo A, extraído da NBR 14432. A classificação da ocupação/uso, bem como a sua divisão pode ser determinada através do Anexo B desta NBR.

Para garantir o TRRF é necessário dimensionar as estruturas corretamente, certificando que estas atendam ao estabelecido pela norma técnica e quando

necessário, adotar medidas de proteção que prolonguem o tempo de resistência dos elementos estruturais.

## 5.2. FUNCIONAMENTO DO FOGO

A representação gráfica do funcionamento do fogo pode ser entendida através de um tetraedro (Tetraedro do Fogo), conforme Figura 6. Cada uma das quatro faces do Tetraedro representa um elemento do fogo, que devem coexistir ligados para que o fogo se mantenha. Os elementos são: combustível, comburente, calor e reação em cadeia.



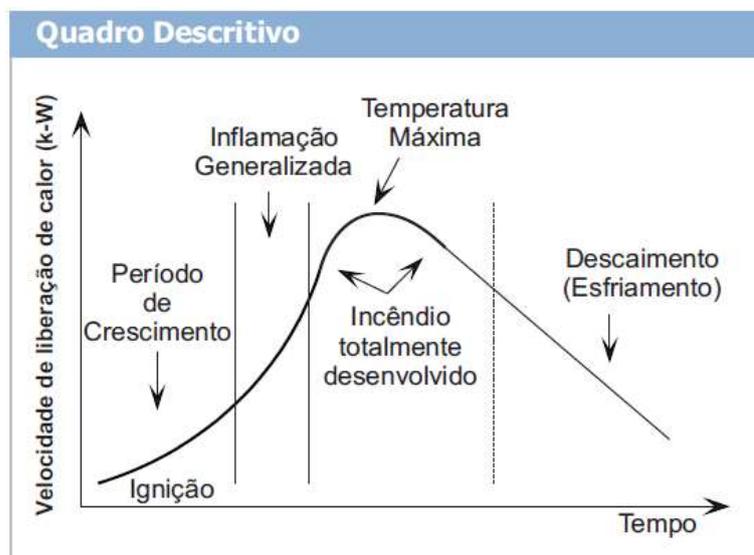
**Figura 6** – Tetraedro do fogo

Fonte: Seito et al. (2008)

Muitos são os fatores responsáveis por iniciar e manter o fogo. Seito et al. (2008) cita quais são estes principais fatores:

- estado da matéria (sólido, líquido ou gás);
- massa específica, superfície específica, calor específico;
- calor latente de evaporação, ponto de fulgor;
- ponto de ignição;
- mistura inflamável (explosiva);
- quantidade de calor;
- composição química;
- quantidade de oxigênio disponível;
- umidade.

Segundo Pannoni (2002) a principal característica de um incêndio, no que diz respeito ao estudo das estruturas, é a curva que fornece a temperatura dos gases em função da progressão do incêndio. Esta curva, representada abaixo, mostra três regiões distintas:



**Figura 7** – Características de um incêndio

Fonte: Pannoni (2002)

- O período de crescimento, no qual a temperatura média do compartimento é relativamente baixa e o fogo está localizado próximo à sua origem.
- O estágio do incêndio totalmente desenvolvido, durante o qual todos os combustíveis existentes no compartimento estão queimando, e as chamas preenchem todo o volume do ambiente.
- O período de decaimento, definido por alguns pesquisadores como sendo o estágio do incêndio quando a temperatura média caiu a 80% do seu valor máximo.

Ao analisarmos a curva é possível determinarmos quando a estrutura estará sujeita as maiores temperaturas e conseqüentemente sujeita a maiores variações térmicas.

É importante ressaltar que todas as formas de demonstrar o funcionamento de um incêndio são apenas especulativas, tendo em vista que cada situação pode apresentar um resultado diferente.

Martin e Peris (1982) explicam que o incêndio apresenta três fases, conforme Tabela 1. A primeira é quando acontece a combustão de um material devido ao aumento da temperatura. Nessa fase o calor desenvolvido é limitado, localizado apenas à fonte geradora.

Na segunda fase, ocorre a propagação do fogo, devido à inflamação generalizada para os materiais combustíveis vizinhos. Elementos construtivos como portas e paredes corta-fogo são importantes nessa fase, para evitar a propagação do fogo.

Na terceira fase praticamente não há material para ser consumidos pelas chamas. É nessa fase que os elementos construtivos revelam sua capacidade de resistência ao fogo, permanecendo estáveis durante o tempo necessário determinado pelas normas, para os quais foram dimensionados e devidamente protegidos.

**Tabela 1 – Fases da evolução de um incêndio**

| <b>FASES</b>  | <b>EVOLUÇÕES CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS ENVOLVIDOS</b>  |
|---------------|--|
| <b>FASE 1</b> | <b>Fonte localizada: calor desenvolvido limitado</b><br>Reação ao fogo: - incombustibilidade<br>- inflamabilidade                              |
| <b>FASE 2</b> | <b>Propagação do incêndio</b><br>Reação ao fogo: - incombustibilidade<br>- inflamabilidade<br>- propagação de chamas<br>- transmissão de calor |
| <b>FASE 3</b> | <b>Resistência ao fogo</b><br>Reação ao fogo: Pânico - vítimas   |

Fonte: Seito et al (2008)

### **5.3. CARACTERÍSTICAS DO AÇO**

Resistência ao fogo diz respeito à capacidade de um elemento suportar o incêndio sem perder suas funções e reação ao fogo. A escolha dos elementos

construtivos é um dos recursos que o profissional deve usar na hora de projetar um edifício, projetar a estrutura de forma adequada traz uma maior resistência ao colapso frente a um incêndio, o que significa uma maior segurança (SILVA et al., 2010, p. 22).

Para Silva et al. (2010) uma estrutura, em situação de incêndio é considerada segura quando possui capacidade para suportar, sem colapso, os esforços, considerando-se a redução de resistência dos materiais estruturais devido à exposição a altas temperaturas. O concreto, o aço, a madeira, a alvenaria estrutural e o alumínio perdem sua capacidade resistente em situação de incêndio devido a degeneração das propriedades mecânicas dos materiais ou devido a redução da área resistente.

Esta mudança de propriedades acontece tanto para o aço carbono quanto para o concreto, que são elementos estruturais básicos na concepção estrutural. Como exemplo, o aço estrutural mantém, a  $550^{\circ}\text{C}$ , cerca de 60% da sua resistência à  $20^{\circ}\text{C}$  (PANNONI, 2002).

A ação do fogo no concreto faz com que este perca sua área resistente devido ao efeito de “spalling”, que é um efeito de lascamento devido a perda de água por evaporação do elemento de concreto, fazendo com que a armadura fique exposta. Na madeira também há perda de área resistente, devido à carbonização da superfície mais exposta ao fogo. No aço acontece a perda do módulo de elasticidade de maneira acentuada.



**Figura 10** – Elemento de aço exposto ao fogo

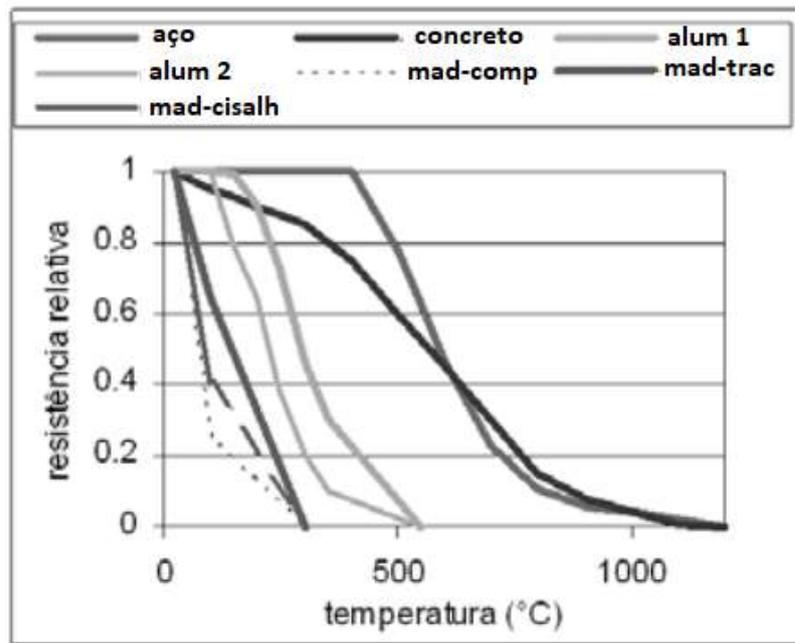


**Figura 9** – Spalling em elemento de concreto exposto ao fogo



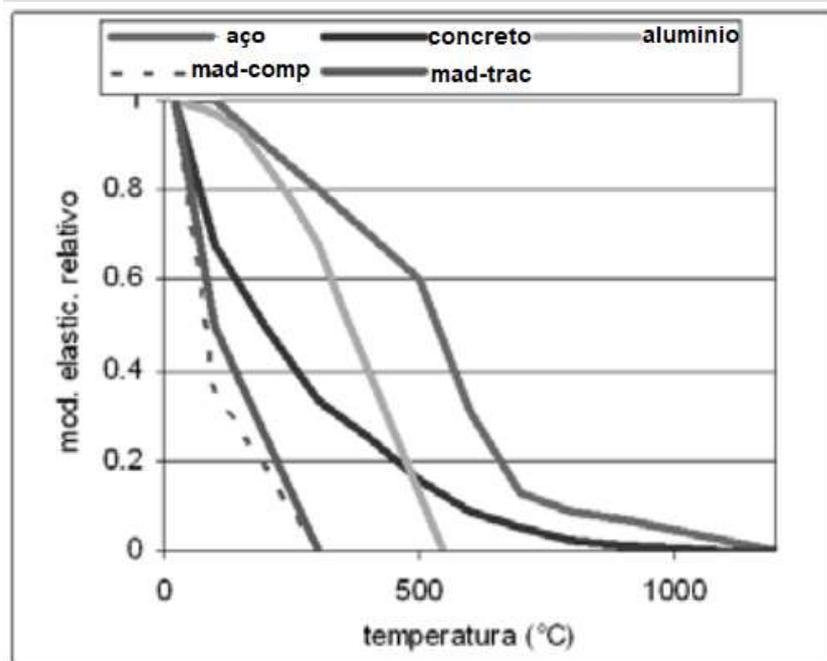
**Figura 8** – Elemento de aço carbonizado ao ser exposto ao fogo

A Figura 11 e a Figura 12 apresentam a redução da resistência e do módulo de elasticidade dos principais materiais quando exposto ao fogo.



**Figura 11** – Resistência relativa dos materiais em função da temperatura

Fonte: SEITO *et al.*,2008



**Figura 12** – Módulo de elasticidade relativo dos materiais em função da temperatura

Fonte: SEITO *et al.*,2008

## 5.4. PROTEÇÃO DO AÇO

Segundo Vargas (2003) uma estrutura corretamente dimensionada à temperatura ambiente e verificada em incêndio pode atender aos requisitos de resistência ao fogo, sem exigir alterações.

A proteção térmica dos elementos estruturais de aço (proteção passiva) é o meio mais comum de se proteger o aço contra o incêndio. Vários são os materiais utilizados com esta finalidade, tais como as argamassas projetadas, tintas intumescentes, mantas cerâmicas ou de lã de rocha basáltica, gesso acartonado e outros (PANNONI, 2002).

Silva et al. (2010) alerta que ao pensar em proteger a estrutura de aço quando exposta ao incêndio, deve-se levar em consideração fatores como:

- Baixa massa específica aparente;
- Baixa condutividade térmica;
- Alto calor específico;
- Adequada resistência mecânica (quando expostos a impactos);
- Garantia de integridade durante a evolução do incêndio;
- Custo compatível.

## 6. MATERIAIS DE PROTEÇÃO

Devido a essa baixa resistência do aço à ação do fogo é então necessário proteger as peças para que estas suportem o tempo necessário para a fuga e entrada da equipe de combate a incêndio. A escolha da melhor proteção envolve fatores como ambiente e disponibilidade dos materiais, manutenção e custo.

Existem disponíveis no mercado várias opções de proteção passiva contra incêndio para estruturas metálicas. Serão abordadas, a seguir, as seguintes:

- Tintas intumescentes;
- Argamassa e fibra projetada;
- Placa de gesso acartonado.
- Placa de lã de rocha;

## 6.1. TINTAS INTUMESCENTES

As tintas intumescentes são tintas que foram desenvolvidas com intuito de expandirem ao ficarem expostas à temperaturas a partir de 200°C, formando uma superfície enrijecida que protege a estrutura metálica isolando-a dos gases e das chamas, conforme *Figura 13*.



**Figura 13** – Tinta intumescente exposta ao fogo

Segundo Pinto (2008), são três reações principais que ocorrem durante o processo de intumescência. A primeira acontece a 150°C, quando ocorre a decomposição do catalisador, em seguida, a uma temperatura um pouco superior, acontece a reação do ácido formado com o agente carbonífero. Por último, tem-se a decomposição do agente expansor, a uma temperatura de 200 a 300°C, ocasionando em liberação de gases que expandem o resíduo de carbono, formando uma espuma de cor escura.

A aplicação das pinturas intumescentes possui como algumas vantagens, sendo elas a característica da tinta possuir um bom acabamento superficial e durabilidade, uma grande variedade de cores no mercado o que pode auxiliar na compatibilização com projetos de arquitetura, por ser uma proteção a base de tinta não adiciona cargas consideráveis a estrutura, simples aplicação apesar de necessitar de experiência e controle de qualidade, não precisa fixar na estrutura e a manutenção é simples, pode ser usado nas regiões de ligações estruturais, pode ser aplicada em estruturas já desgastadas pelo tempo desde que feitos os devidos preparos da superfície que receberá a tinta.

A Tabela 2 apresenta um levantamento das principais tintas empregadas no mercado nacional.

**Tabela 2** – Principais tintas intumescentes utilizadas no Brasil

| <b>PRODUTO</b>        | <b>FABRICANTE</b>      | <b>REPRESENTANTE NO BRASIL</b> |
|-----------------------|------------------------|--------------------------------|
| Nullifire S605 e S707 | Carboline              | Unifrax Brasil                 |
| Firetex               | Leigh´s Paints         | Morganite do Brasil            |
| Sprayfilm             | Isolatek International | Morganite do Brasil            |
| Interchar 963         | Tintas International   | Produzido no Brasil            |
| Firesteel 47-A        | Firetherm              | CKC do Brasil                  |
| Calatherm 600         | Tintas Calamar         | Produzido no Brasil            |

Fonte: SEITO *et al.*,2008

A espessura da camada intumescente, de acordo com o TRRF pretendido, pode ser consultada em catálogos e varia muito conforme cada fabricante. A Tabela 3 e Tabela 4 apresentam a espessura de tinta intumescente aplicada em vigas tipo “I”, com os quatro lados exposto segundo o catálogo de dois fornecedores distintos.

**Tabela 3** - Espessura (mm) de tinta intumescente, catálogo Nullifire, para  $\theta_{cr}=550^{\circ}\text{C}$ 

| <b>F (m<sup>-1</sup>)</b> | <b>TRRF (min)</b>                       |           |           |            |
|---------------------------|---|-----------|-----------|------------|
|                           | <b>Catálogo Nullifire Internacional</b> |           |           |            |
|                           | <b>30</b>                               | <b>60</b> | <b>90</b> | <b>120</b> |
| <b>150</b>                | 0,49                                    | 1,27      | 1,73      | 3,96       |
| <b>200</b>                | 0,49                                    | 1,27      | 2,31      | 5,94       |
| <b>300</b>                | 0,49                                    | 2,23      | -         | -          |

Fonte: Catálogo Nullifire Internacional

**Tabela 4** - Espessura (mm) de tinta intumescente, catálogo Tintas Calamar, para  $\theta_{cr}=550^{\circ}\text{C}$

| F (m <sup>-1</sup> ) | TRRF (min)              |      |      |      |
|----------------------|-------------------------|------|------|------|
|                      | Catálogo Tintas Calamar |      |      |      |
|                      | 30                      | 60   | 90   | 120  |
| 150                  | 0,37                    | 1,20 | 2,10 | 2,90 |
| 200                  | 0,47                    | 1,70 | 3,00 | -    |
| 300                  | 0,67                    | 2,30 | -    | -    |

Fonte: Catálogo Tintas Calamar

## 6.2. MATERIAIS PROJETADOS

Os materiais projetados são constituídos à base de cimento ou gesso contendo agregados como fibras minerais e vermiculita expandida. Esses materiais podem oferecer proteção de até 240 minutos.

A argamassa projetada é um tipo de proteção de estruturas metálicas de fácil aplicação e apresenta baixo custo. Segundo Mendes *et al.*, (2006) :

Estes materiais são os mais utilizados para a proteção de estruturas metálicas em todo o mundo e já foram especificados para a proteção contra incêndio em grandes edifícios, como o Sears Towers, World Trade Center, Torres Petronas, entre outros. (MENDES, *et al.*, 2006,p.74).

Essa argamassa é constituída em grande parte de sua composição por aglomerantes, como gesso e cimento; além disso, contém resinas acrílicas e cargas inertes, como a celulose e o poliestireno expansível. Quando adicionada a água, a argamassa apresenta característica fluida que facilita sua aplicação de forma projetada com o auxílio de mangueiras e pistolas de projeção.



**Figura 14** – Aplicação de argamassa projetada

As fibras projetadas mais usadas no Brasil são importadas dos Estados Unidos e são obtidas de rochas ou escória de alto-forno. Segundo Vargas *et al.* (2010) “as argamassas projetadas contendo fibras consistem de agregados, fibras minerais e aglomerantes (por exemplo, cimento Portland)”. (SILVA *et al.*, 2010,p.56).

Essas fibras também são aplicadas por projeção e não apresentam nenhum tipo de reação química depois de aplicada, permanecendo inerte. Sua densidade é de aproximadamente 240 kg/m<sup>3</sup> e é atóxica.

**Tabela 5** – Mínimos recomendados das propriedades físicas das fibras projetadas

| PROPRIEDADES FÍSICAS     | MÍNIMOS RECOMENDADOS       |
|--------------------------|----------------------------|
| Densidade seca média     | 240 kg/m <sup>3</sup>      |
| Aderência ao aço         | 9,6 kpa                    |
| Compressão- 10%def. máx. | 57 kpa                     |
| Erosão - ar a 24 km/h    | Máx. 0,53 g/m <sup>2</sup> |

Fonte: Silva et al. (2008)

Os materiais projetados na estrutura metálica para garantir a resistência ao fogo devem acompanhar os movimentos da estrutura, de forma a evitar desprendimentos e fissuras. Além disso, não devem reagir com o ar, para não haver corrosão da estrutura metálica.

A Tabela 6 apresenta os principais fabricantes de fibra projetada utilizada no Brasil.

**Tabela 6** – Principais fibras projetadas utilizadas no Brasil

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

Fonte: SEITO *et al.*, 2008

A Tabela 7 apresenta a espessura de argamassa necessária, conforme o TRRF, segundo o catálogo de um fabricante de argamassa pré-fabricada para proteção de estruturas metálicas contra a ação do fogo.

**Tabela 7** - Espessura (mm) da argamassa pré-fabricada Termosist G, para  $\theta_{cr}=550^{\circ}\text{C}$

| F (m <sup>-1</sup> ) | TRRF (min) |    |    |     |
|----------------------|------------|----|----|-----|
|                      | 30         | 60 | 90 | 120 |
| 150                  | 10         | 17 | 25 | 34  |
| 200                  | 11         | 20 | 30 | 39  |
| 300                  | 13         | 24 | 36 | 47  |

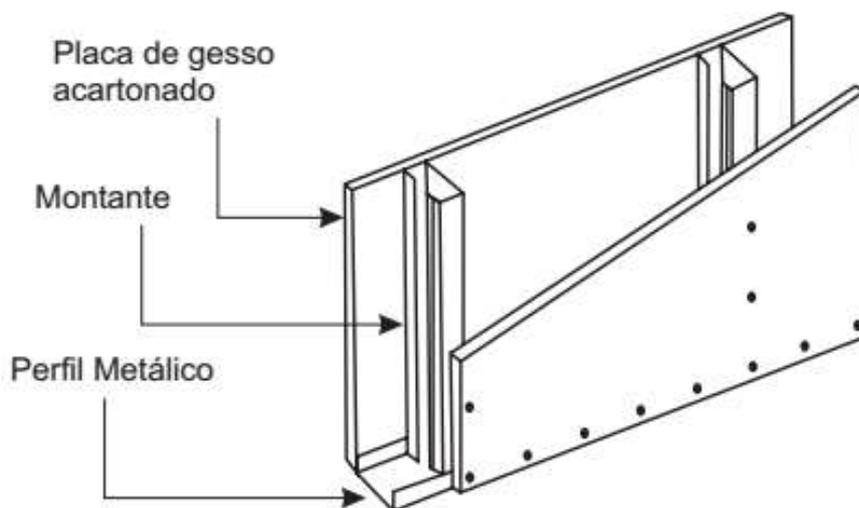
Fonte: Catálogo Sistema

### 6.3. PLACAS DE GESSO ACARTONADO

As placas rígidas são elementos pré-fabricados, podendo ser rígidas ou flexíveis, que dispõem de material fibroso e gesso em sua composição. Geralmente são fixadas na estrutura por meio de pinos e garantem boa estética ao ambiente.

Material gessado específico para estruturas metálicas, em formato de placas de 15 mm, são cortadas uma a uma nas medidas requeridas e envolvidas nas estruturas metálicas seguindo normas adequadas. Em alguns casos é necessário vedar as juntas entre as placas com materiais de firestop, para que a sua proteção seja efetiva em caso de incêndio. Por ocuparem espaços de áreas úteis e serem mais frágeis, não são recomendadas, por exemplo, em garagens ou áreas expostas a impactos mecânicos. O tempo de instalação também costuma ser maior, devido ao trabalho artesanal e de encaixe das placas.

Durante a exposição ao fogo, a placa perde as moléculas de água contidas no gesso, o que mantém a temperatura do aço mais baixa; a fibra de vidro tem a função de manter a placa estruturada.



**Figura 15** – Fixação da placa de gesso acartonado na estrutura

Fonte: Pannoni

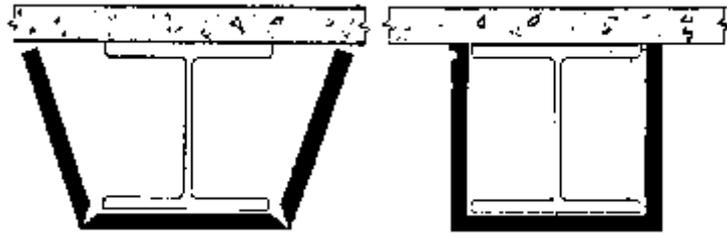
O dimensionamento da espessura dessas placas de gesso acartonado, assim como as placas de lã de vidro, é feito conforme as características do aço utilizado e do TRRF exigido pelo Corpo de Bombeiros Militar.

**Tabela 8-** Espessura (mm) do painel Thermax-PEM em função de F e do TRRF, para  $\theta_{cr}=550^{\circ}\text{C}$

| F (m <sup>-1</sup> ) | TRRF (min) |          |          |          |
|----------------------|------------|----------|----------|----------|
|                      | 30         | 60       | 90       | 120      |
| < 55                 | 12,5       | 12,5     | 12,5     | 15       |
| 55                   | 12,5       | 12,5     | 12,5     | 2 x 12,5 |
| 70                   | 12,5       | 12,5     | 12,5     | 2 x 12,5 |
| 98                   | 12,5       | 12,5     | 15       | 2 x 12,5 |
| 138                  | 12,5       | 12,5     | 2 x 12,5 | 2 x 12,5 |
| 152                  | 12,5       | 12,5     | 2 x 12,5 | 2 x 15   |
| 203                  | 12,5       | 15       | 2 x 12,5 | 2 x 15   |
| 240                  | 12,5       | 15       | 2 x 12,5 | 3 x 12,5 |
| 334                  | 12,5       | 2 x 12,5 | 3 x 12,5 | 3 x 12,5 |
| 400                  | 12,5       | 2 x 12,5 | 3 x 12,5 | 3 x 12,5 |

#### 6.4. PLACAS DE LÃ DE ROCHA

As placas de lã de rocha são compostas de material fibroso, aglomerado pela adição de resinas termoendurecíveis. As placas são incombustíveis, apresentam baixa densidade e são encontradas na forma rígida ou flexível. O dimensionamento da espessura da placa é feito conforme o TRRF exigido pelo Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais. A fixação é feita através de pinos de aço soldados à estrutura metálica, envolvendo-a na forma de caixas, conforme Figura 16, o ar confinado dentro desse sistema melhora ainda mais a proteção da estrutura, e como consequência, tem-se a redução da espessura dessas placas. Elas podem ser fornecidas com acabamentos superficiais, como papel Kraft, véu de poliéster e alumínio reforçado, garantindo também estética ao ambiente.



**Figura 16** – Fixação das placas de lã de rocha

Fonte: RockFibras

**Tabela 9** - Espessura (mm) do painel Thermax-PEM em função de F e do TRRF, para  $\theta_{cr}=550^{\circ}\text{C}$

| F (m <sup>-1</sup> ) | TRRF (min) |    |    |     |
|----------------------|------------|----|----|-----|
|                      | 30         | 60 | 90 | 120 |
| 30                   | 25         | 25 | 25 | 25  |
| 60                   | 25         | 25 | 25 | 25  |
| 65                   | 25         | 25 | 25 | 38  |
| 95                   | 25         | 25 | 25 | 38  |
| 100                  | 25         | 25 | 38 | 38  |
| 105                  | 25         | 25 | 38 | 50  |
| 140                  | 25         | 25 | 38 | 50  |
| 145                  | 25         | 25 | 38 | 63  |
| 160                  | 25         | 25 | 38 | 63  |
| 165                  | 25         | 25 | 50 | 63  |
| 185                  | 25         | 25 | 50 | 63  |
| 190                  | 25         | 25 | 50 | 75  |
| 230                  | 25         | 25 | 50 | 75  |
| 235                  | 25         | 38 | 50 | 75  |
| 240                  | 25         | 38 | 63 | 88  |
| 300                  | 25         | 38 | 63 | 88  |
| 305                  | 25         | 38 | 63 | 100 |
| 320                  | 25         | 38 | 63 | 100 |

Fonte: Catálogo Rock Fibras

## 7. COMPARAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS DE PROTEÇÃO

Além de observar o tempo que cada material de revestimento estrutural para proteção contra a ação do fogo oferece outras características também devem ser observadas, como a necessidade de preparos e considerações no momento da aplicação, resistência e o acabamento final apresentado. A tabela apresenta de forma objetiva uma comparação entre os materiais projetados, rígidos e semirrígidos e intumescentes.

**Tabela 10** – Comparação entre os materiais de proteção contra o fogo para estruturas metálicas

|                                    | <b>MATERIAIS PROJETADOS</b>                                  | <b>MATERIAIS RÍGIDOS E SEMIRRÍGIDOS</b>   | <b>MATERIAIS INTUMESCENTES</b>                 |
|------------------------------------|--|---|--|
| <b>Custo</b>                       | Baixo a médio  | Baixo a médio   | Médio a alto                                   |
| <b>Aplicação</b>                   | Úmido  | Seco  | Úmido  |
| <b>Equipamentos para aplicação</b> | Necessários equipamentos especiais                           | Ferramental simples   | Equipamentos normalmente utilizados em pintura |
| <b>Uso</b>                         | Interno e externo  | Interno   | Interno, com alguns sistemas externos.         |
| <b>Preparação para aplicação</b>   | Superfície limpa   | Nenhum  | Necessita de tinta de fundo                    |
| <b>Robustez</b>                    | Relativamente frágil; pode ser vulnerável a danos mecânicos. | Relativamente frágil; pode ser vulnerável a danos mecânicos.                        | Semelhante aos sistemas de pinturas adicionais |
| <b>Acabamento</b>                  | Texturizado  | Materiais rígidos são normalmente lisos, enquanto os semirrígidos são texturizados. | Liso ou levemente texturizado                  |
| <b>Faixa de espessuras</b>         | 10 a 75 mm   | Placas de 6 a 100 mm e mantas de 12 a 76 mm   | 0,3 a 6,5 mm                                   |
| <b>Resistência máxima ao fogo</b>  | 240 minutos  | 240 minutos   | 120 minutos                                    |

Fonte: SEITO *et al.*,2008

## 8. CONSIDERAÇÕES SOBRE PROTEÇÃO CONTRA FOGO EM PIPE RACKS METÁLICOS

“Pipe Rack” é o termo utilizado para denominar a estrutura que serve de apoio para os diversos tipos de tubulação, sendo frequentemente usados em indústrias e refinarias de petróleo. Muitas vezes utiliza-se o aço para a construção do Pipe Rack, e assim como em uma edificação, esse tipo de estrutura também está sujeito à ação do fogo e deve ser protegido de forma passiva, a fim de proteger vidas e patrimônios.



**Figura 17** – Pipe Rack

Fonte: Portal AEC Web

. A Figura 18 mostra uma estrutura de Pipe Rack completamente destruída por um incêndio. O acidente ocorreu na Refinaria Valero McKee no Texas, Estados Unidos. A tubulação transportava propano líquido sob elevada pressão e continha uma pequena quantidade de água em sua fase líquida; esta água atingiu uma tubulação desativada e durante o inverno congelou-se. O gelo provocou expansão e conseqüentemente levou á ruptura da tubulação, causando vazamento do propano e uma explosão, assim que entrou em contato com uma fonte de ignição. O pipe rack

não estava protegido passivamente com algum revestimento, levando a estrutura ao colapso.



**Figura 18** – Colapso em Pipe Rack devido a incêndio

Fonte: Center for Chemical Process Safety – CCPS

Para a proteção desse tipo de estrutura, podem ser utilizados revestimentos de argamassa de areia e cimento ou materiais tipo epóxi-intumescente. Para as argamassas, recomenda-se o uso do traço 3:1 (areia x cimento), sendo que a areia deve ter granulometria máxima de 4,8 mm e não apresentar argilas, matérias orgânicas e materiais pulverulentos. Na aplicação dos materiais epóxi-intumescente, deve-se proceder a limpeza superfície metálica para maior aderência da tinta, a aplicação é feita com spray até atingir a espessura requerida.

## 9. CONCLUSÃO

A partir deste estudo pode-se identificar e evidenciar as principais características de alguns dos sistemas de proteção para estruturas de aço, a fim de garantir um maior tempo de estabilidade a elas em uma situação de incêndio, garantindo a fuga em segurança dos usuários da edificação.

Para a análise de qual sistema de proteção definir, deve-se antes de tudo, definir qual o TRRF necessário à estrutura, de acordo com a ocupação destinada a edificação, conforme instruções técnicas do Corpo de Bombeiros. Cada material contribui com um TRRF diferente e aumenta quanto maior a espessura da camada de proteção.

Entre os materiais estudados, percebe-se a diferença no modo de aplicação, sendo alguns projetados, outros aplicados com a ajuda de pincel ou rolo, como as tintas intumescentes, ou ainda, fixado junto às estruturas, como as placas de gesso acartonado. Vale lembrar que os aspectos econômicos e arquitetônicos devem ser considerados na escolha do melhor sistema.

É importante que autoridades brasileiras competentes revisem as normas, fiscalizem e conscientizem a população sobre a necessidade dos sistemas de proteção em geral, para que a população não seja vítima da negligência que cerca este assunto durante tantos anos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR 14323: Dimensionamento de estruturas de aço de edifícios em situação de incêndio – Procedimento*. Rio de Janeiro, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR 14423: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento*. Rio de Janeiro, 2000.

BASSO, G. *Proteção passiva em estruturas metálicas: Desempenho de pinturas intumescentes*. Porto Alegre, 2016.

FONSECA, J. J. S. *Metodologia da pesquisa científica*. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. *Metodologia do trabalho científico*. São Paulo: Atlas, 1992.

MARTÍN, L. M. E. e PERIS, J. J. F. *Comportamiento AL fuego de materiales y estructuras*. Madrid, Laboratorio de Experiencias e Investigaciones Del Fuego, Insituto Nacional de Investigaciones Agrarias, 1982.

MESQUITA, L.M.R.; PILOTO, P.A.G.; VAZ, M.A.P; VILA REAL, P.M.M.; *Ensaio de resistência ao fogo de vigas em aço protegidas com tinta intumescente*”; artigo apresentado nas actas do 6º Congresso Nacional de Mecânica Experimental; ISBN nº 972-8826-09-5, pp 22-24; Ponta Delgada – Universidade dos Açores, 27-29 de Julho de 2005.

OLIVEIRA, R. B. R. DA S.; MORENO J. ; ARMANDO L.; VIEIRA J. ; LUIZ C. M. *Tinta Intumescente Como Revestimento Contra Fogo*. Porto Alegre, 2015.

PANNONI, Fábio Domingos. *Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio*. 2 ed. São Paulo, 2004.

PINTO, T. M. C. G. *Estudo de tintas intumescentes na protecção de elementos estruturais em condições de incêndio*. Portugal, Bragança, 2008.

SEITO, A. I. *et al.* *A segurança contra incêndios no Brasil*. São Paulo: Projeto Editora, 2008.

SILVA, V. P.; VARGAS, M. R.; ONO, R. *Prevenção contra incêndio no projeto de arquitetura*. Rio de Janeiro, 2010.

VARGAS, M. R. ; SILVA, V. P. *Resistência ao fogo das estruturas de aço*. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2003

## ANEXO A – TEMPO REQUERIDO DE RESISTÊNCIA AO FOGO (TRRF)(MIN)

| Grupo | Ocupação/ Uso                               | Divisão  | Profundidade do subsolo |                      | Altura da edificação |                                  |                                   |                                   |                    |
|-------|---|--|-------------------------|----------------------|----------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------|
|       |   |  | $h_s > 10 \text{ m}$    | $h_s < 10 \text{ m}$ | $h < 6 \text{ m}$    | $6 \text{ m} < h < 12 \text{ m}$ | $12 \text{ m} < h < 23 \text{ m}$ | $23 \text{ m} < h < 30 \text{ m}$ | $h > 30 \text{ m}$ |
| A     | Residencial                                 | A-1 a A-3                                      | 90                      | 60 (30)              | 30                   | 30                               | 60                                | 90                                | 120                |
| B     | Serviço de hospedagem                       | B-1 e B-2                                      | 90                      | 60                   | 30                   | 60 (30)                          | 60                                | 90                                | 120                |
| C     | Comercial varejista                         | C-1 a C-3                                      | 90                      | 60                   | 60 (30)              | 60 (30)                          | 60                                | 90                                | 120                |
| D     | Serviços profissionais, pessoais e técnicos | D-1 a D-3                                      | 90                      | 60 (30)              | 30                   | 60 (30)                          | 60                                | 90                                | 120                |
| E     | Educacional e cultura física                | E-1 a E-6                                      | 90                      | 60 (30)              | 30                   | 30                               | 60                                | 90                                | 120                |
| F     | Locais de reunião de público                | F-1, F-2, F-5, F-6                             | 90                      | 60                   | 60 (30)              | 60                               | 60                                | 90                                | 120                |
| G     | Serviços automotivos                        | G-1 e G-2 não abertos lateralmente e G-3 a G-5 | 90                      | 60 (30)              | 30                   | 60 (30)                          | 60                                | 90                                | 120                |

|   |                                    |                                |     |         |         |         |         |          |     |
|---|------------------------------------|--------------------------------|-----|---------|---------|---------|---------|----------|-----|
|   |                                    | G-1 e G-2 abertos lateralmente | 90  | 60 (30) | 30      | 30      | 30      | 30       | 60  |
| H | Serviços de saúde e institucionais | H-1 a H-5                      | 90  | 60      | 30      | 60      | 60      | 90       | 120 |
| I | Industrial                         | I-1                            | 90  | 60 (30) | 30      | 30      | 60      | 90       | 120 |
|   |                                    | I-2                            | 120 | 90      | 60 (30) | 60 (30) | 90 (60) | 120 (90) | 120 |
| J | Depósitos                          | J-1                            | 90  | 60 (30) | 30      | 30      | 30      | 30       | 60  |
|   |                                    | J-2                            | 120 | 90      | 60      | 60      | 90 (60) | 120 (90) | 120 |

Nota: os tempos entre parênteses podem ser usados em subsolo nos quais a área bruta de cada pavimento seja menor ou igual a 500 m<sup>2</sup> e em edificações nas quais cada pavimento acima do solo tenha área menor ou igual a 750 m.