

N. CLASS. M 624.1821  
CUTTER L 732.5  
ANO/EDIÇÃO 2015

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS – UNIS/MG**  
**ENGENHARIA MECÂNICA**  
**AMANDA BARBOSA DAS NEVES**

**A IMPORTÂNCIA DO USO DE REVESTIMENTO TÉRMICO EM ESTRUTURAS  
DE AÇO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO**

**Varginha**  
**2015**

**AMANDA BARBOSA DAS NEVES**

**A IMPORTÂNCIA DO USO DE REVESTIMENTO TÉRMICO EM ESTRUTURAS  
DE AÇO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas para a obtenção do grau de bacharel, sob orientação dos Professores Msc. Erik Vitor da Silva e Dr. Rafael Farinassi Mendes.

**Varginha  
2015**

AMANDA BARBOSA DAS NEVES

**A IMPORTÂNCIA DO USO DE REVESTIMENTO TÉRMICO EM ESTRUTURAS  
DE AÇO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-requisito para obtenção do título de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em 24 / 10 / 2015

---

Prof. Msc. Erik Vitor da Silva – Centro Universitário do Sul de Minas (UNIS/MG)

---

Prof. Dr. Rafael Farinassi Mendes – Universidade Federal de Lavras (UFLA)

OBS:

Dedico este trabalho a todos aqueles que  
contribuíram para a sua realização e que  
sempre se mantiveram ao meu lado nos  
momentos difíceis.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que me apoiaram nesta longa caminhada e que sempre estiveram do meu lado. Em especial minha mãe, irmã e meu eterno namorado Wesley Pontello.

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível”.

Charles Chaplin

## RESUMO

A Segurança Contra Incêndio (SCI) é a solução para o crescimento rápido das estruturas de aço, que cada vez mais altas e complexas, tornam-se difícil o acesso para combate aos incêndios. A SCI hoje em dia é quesito obrigatório para uma estrutura de aço segura, garantindo a segurança usuários da edificação e preservação patrimonial. A Segurança Contra Incêndio engloba vários métodos e medidas de proteção contra incêndios. As medidas de proteção são as proteções ativa e passiva, sendo a proteção ativa o uso adequado de extintores, detectores de fumaça, alarmes, hidrantes dentre outras na edificação e medidas passiva o uso de compartimentação, saídas de emergência e revestimento térmico. O presente trabalho tem como objetivo apresentar os revestimentos térmicos, conhecidos também como materiais de proteção térmica, disponíveis no mercado e seus custos no projeto estrutural. A principal função dos revestimentos térmicos é proteger o aço dos gases quentes e chamas provenientes de um incêndio na estrutura metálica. Para tal proteção é necessário que o revestimento térmico tenha características próprias, como baixa condutividade térmica, para um isolamento e estanqueidade eficaz, custo compatível para não onerar o custo da obra e baixa massa específica para não sobrecarregar o peso próprio da estrutura de aço, dispensando o redimensionamento da estrutura. Trabalho conforme as principais normas de estrutura de aço em situação de incêndio ABNT NBR 14323 (2003) – Dimensionamento de estrutura de aço de edifícios em situação de incêndio, ABNT NBR 14432 (2001) – Exigência de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações, e Instrução Técnica do Corpo de bombeiros Militar de Minas Gerais – IT 06 (2005) – Segurança estrutural das edificações.

**Palavras-chaves:** Estrutura de aço, incêndio, revestimento térmico.

## ABSTRACT

*The Fire Safety (SCI) is the solution to the rapid growth of steel structures, which increasingly high and complex, they become harder to access for fighting fires. SCI nowadays is required Question for a secure steel structure, ensuring the safety of building users and heritage preservation. The Fire Safety encompasses various methods and fire protection measures. The security measures are the active and passive protections, and active protection the proper use of fire extinguishers, smoke detectors, alarms, fire hydrants among others in the building and passive measures the use of partitioning, emergency exits and insulated. This study aims to present the thermal coatings, also known as thermal protection materials available and their costs in structural design. The main function of the thermal coatings is to protect the steel from the hot gases and flames from a fire in the metal structure. For such protection is necessary that the thermal coating has characteristics such as low thermal conductivity, for insulation and effective sealing, cost compatible to not burden the cost of work and low bulk density to not overload the dead weight of the steel structure, dispensing resizing the frame. Work as the main standards of steel structure fire NBR situation 14323 (2003) - Steel Structure Design of buildings in case of fire, NBR 14432 (2001) - fire resistance requirement of constructive elements of buildings, Technical Instruction and the Fire department Minas Gerais Military - IT 06 (2005) - Structural safety of buildings.*

**Keywords:** Steel structure, fire insulated.

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>  | <b>10</b> |
| <b>2 A DINÂMICA DO INCÊNDIO .....</b>  | <b>12</b> |
| <b>2.1 Transferência de calor.....</b>   | <b>13</b> |
| 2.1.1 Condução .....   | 14        |
| 2.1.2 Convecção .....  | 14        |
| 2.1.3 Radiação .....   | 15        |
| <b>2.2 Medidas de proteção contra incêndios .....</b>                          | <b>15</b> |
| 2.2.1 proteção ativa.....  | 15        |
| 2.2.2 proteção passiva.....  | 16        |
| <b>3 ESTRUTURA DE AÇO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO .....</b>                        | <b>17</b> |
| <b>3.1 Propriedades mecânicas do aço .....</b>                                 | <b>18</b> |
| <b>3.2 Propriedades térmicas do aço .....</b>                                  | <b>18</b> |
| 3.2.1 Condutividade térmica .....  | 18        |
| 3.2.2 Calor específico .....   | 19        |
| 3.2.3 Alongamento .....  | 20        |
| <b>4 NORMAS UTILIZADAS EM ESTRUTURA DE AÇO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO .....</b>   | <b>22</b> |
| <b>4.1 Normas Internacionais .....</b>   | <b>22</b> |
| <b>4.2 Normas Brasileiras .....</b>  | <b>22</b> |
| <b>5 TEMPO REQUERIDO DE RESISTÊNCIA AO FOGO – TRRF .....</b>                   | <b>24</b> |
| <b>6 MODELOS DE INCÊNDIOS .....</b>  | <b>29</b> |
| <b>6.1 Modelo incêndio-padrão .....</b>  | <b>31</b> |
| 6.1.1 Temperatura dos gases em função do tempo conforme ISO 834.....           | 32        |
| 6.1.2 Temperatura dos gases em função do tempo conforme ASTM E 119.....        | 32        |
| <b>6.2 Modelo incêndio natural .....</b>                                       | <b>33</b> |
| <b>6.2.1 Carga de incêndio .....</b>   | <b>34</b> |
| 6.2.1.1 Carga de incêndio específico.....                                      | 34        |
| 6.2.2 Grau de ventilação .....   | 34        |
| <b>7 DIMENSIONAMENTO DA ESPESSURA DO REVESTIMENTO TÉRMICO.....</b>             | <b>35</b> |
| <b>8.1 Fator de massividade.....</b>   | <b>36</b> |
| <b>8.1 Carta de Cobertura.....</b>   | <b>38</b> |
| <b>CAPÍTULO 8: REVESTIMENTO TÉRMICO PARA AÇO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO .....</b> | <b>39</b> |
| <b>8.1 Materiais projetados .....</b>  | <b>41</b> |
| 8.1.1 Argamassa projetadas .....   | 41        |

|   |           |
|---|-----------|
| 8.1.2 Fibras projetadas .....                   | 42        |
| <b>8.2 Placas rígidas ou semirrígidas .....</b> | <b>44</b> |
| 8.2.1 Placas de gesso acartonado (GARF) .....   | 44        |
| 8.2.2 Placa de lã de rocha .....                | 46        |
| 8.2.3 Mantas cerâmicas .....                    | 46        |
| 8.3 Tintas Intumescentes .....                  | 47        |
| <b>8.4 Revestimentos mais utilizados .....</b>  | <b>49</b> |
| <br>  |           |
| <b>CONCLUSÃO .....</b>                          | <b>51</b> |
| <br>  |           |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>                        | <b>52</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

As estruturas de aço são compostas por elementos estruturais de aço interligados entre si as quais tem por finalidade um projeto de estrutura de aço capaz de suportar as diversas cargas e ações e se manter estável. O Brasil apresenta um consumo elevado de aço estrutural, segundo pesquisas realizadas pelo Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA) e Associação Brasileira de Construção Metálica (ABCEM) em 2014 (ano base 2013), o Brasil teve produção total de 1,127 milhões de toneladas de aço estrutural em 2013, as maiorias dos fabricantes estão localizadas na região sudeste com 66,3%, seguida da região sul com 15,7%. As duas regiões concentram 82% dos fabricantes dos aços estruturais no Brasil.

O aço estrutural tem inúmeras vantagens para sua utilização em projetos estruturais, sendo elas: a flexibilidade no projeto arquitetônico, rápida montagem, grande precisão em seus elementos estruturais (precisão em milímetros), alta resistência e como temos que ter hoje em dia a consciência ecológica os aços estruturais são 100% recicláveis tornando visíveis suas vantagens na utilização.

Dois paradigmas estão relacionados com as desvantagens na utilização do aço estrutural, sendo eles a corrosão e o incêndio. A corrosão pode ser solucionada com o uso de tintas anticorrosivas, podendo ser utilizada em vários ambientes tanto internos quanto externos à edificação. Para o comportamento do aço frente ao fogo, torna-se um problema se não forem tomadas as devidas providências, pois o aço quando submetidos aos gases quentes do incêndio tem redução na resistência e rigidez, ocasionado o colapso parcial ou total da estrutura de aço. Por esse motivo é necessário a utilização de revestimento térmico na proteção do aço em situação de incêndio.

Como ênfase no revestimento térmico que é o objetivo desta pesquisa será estudado e analisado: quais os revestimentos térmicos utilizados na estrutura de aço disponíveis no mercado e com custos mais baixos.

O revestimento térmico também conhecido como proteção térmica, tem como objetivo proteger o aço estrutural das ações dos gases quentes do incêndio, em situação de incêndio a estrutura de aço deve manter sua integridade para que a fuga dos ocupantes e as operações de combate ao incêndio sejam feita de maneira a assegurar a vidas dos mesmos. Levando em consideração em menor grau a minimização de danos as edificações adjacentes e a infraestrutura pública.

Como já mencionado anteriormente os revestimentos térmicos têm a função de não permitir que a temperatura elevada dos gases do incêndio entre em contato com o perfil. Por

isso é necessário que os revestimentos térmicos tenham três propriedades, sendo elas: Baixa massa específica, baixa condutividade térmica e elevado calor específico. Os materiais para revestimento térmico devem apresentar capacidade de proteção térmica para altas temperaturas, mantendo sua integridade, capacidade de suportar cargas e isolamento durante o incêndio, sem causar aumento considerável no peso próprio da estrutura.

Os revestimentos térmicos serão caracterizados conforme suas utilizações, características e desempenho frente ao fogo, pois sua aplicação depende de cada necessidade e estrutura. Serão analisados quais os revestimentos são mais utilizados e quais seus custos.

O objetivo geral da presente pesquisa será a importância do uso de revestimento térmico em estrutura de aço em situação de incêndio. O objetivo geral descrito anteriormente é importante para a preservação da estrutura em sua integridade (não havendo colapso estrutural parcial ou total) para que os ocupantes do edifício possam evacuar rapidamente do local do sinistro e as ações de combate a incêndio seja feita de maneira segurar eficaz, assim preservando o patrimônio e as estruturas adjacentes.

No Brasil, foram criadas duas normas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que estabelecem requisitos para a execução do projeto de estrutura de aço em situação de incêndio, sendo elas: NBR 14323:2003, intitulada “Dimensionamento de estrutura de aço de edifícios em situação de incêndio” e NBR 14432:2000, intitulada “Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações”.

A NBR 14323:2003, estabelece condições para o dimensionamento da estrutura em situação de incêndio por meio de métodos experimental, simplificado e avançado. A estrutura de aço pode ser constituída de perfis formados a frio, trefilados, laminados e soldados e não híbridos.

A NBR 14432:2000, apresenta tabelas com Tempo Requerido de Resistência ao Fogo – TRRF, tempo em que o aço estrutural ou materiais construtivos podem suportar a ação térmica dos gases do incêndio no perfil, antes de chegar à temperatura crítica. Mais detalhes serão fornecidos no presente trabalho.

## 2 A DINÂMICA DO INCÊNDIO

Triângulo do fogo constitui na junção de três elementos que interligados entre si forma-se o fogo, retirando um desses elementos extingue-se o fogo. Os elementos citados são: Combustível, Comburente e Calor. Conforme apresenta a Figura 01.

Segundo Ono (2007), o homem sempre quis dominar o fogo. Durante milhares de anos, ao friccionar uma pedra contra outra, gerava uma faísca que junto a gravetos, iniciava a fogueira. Ele controlava a ignição, todavia não controlava o fogo.

Figura 01 - Triângulo do fogo



Fonte: (Andrade, 2010, p.46).

Segundo Seito (2008), os métodos controle, prevenção ou extinção do fogo baseiam-se nos seguintes itens: Combustível, Comburente e uma fonte de ignição, a seguir suas respectivamente definições:

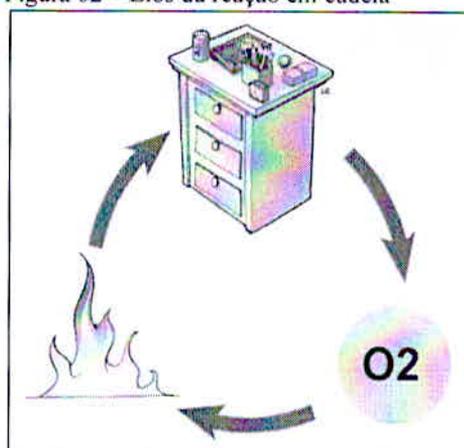
- a) Combustível: Qualquer elemento ou substância que submetidas ao calor, tenha poder calorífico.
- b) Comburente: Substância que alimenta o fogo, o mais comum é o oxigênio.
- c) Uma fonte de ignição: fonte de ignição, ou seja, energia térmica utilizada para manter o fogo.

Analisando a figura 01, podemos concluir que cada fase do triângulo do fogo representa um elemento para a existência do fogo – comburente, combustível, fonte de ignição. Por este motivo os elementos devem coexistir ligados para que o fogo se mantenha, retirando um elemento o fogo extingue-se ao decréscimo da temperatura.

Conforme a Figura 02, o material quando aquecido até seu ponto de ignição, ou seja, temperatura de ignição, e tendo prosseguimento da queima resulta na combustão. Ao decorrer do incêndio temos a reação em cadeia.

Segundo Silva et al (2010), os sólidos ao serem aquecidos liberam de sua superfície vapores combustíveis que se misturam ao oxigênio presente no ambiente. Essa mistura é inflamável bastando somente uma fagulha ou contato com a superfície do sólido para que o mesmo entre em ignição, conforme Figura 02.

Figura 02 – Elos da reação em cadeia



Fonte: (SILVA et al, 2010, p.12).

## 2.1 Transferência de calor

A transferência de calor é um conceito importante no estudo na segurança contra incêndio (SCI) em edificações. O conceito de transferência de calor é estudado a partir do ensino médio, fazendo parte também da grade curricular de todos os cursos de engenharia, sendo estudada mais profundamente. A saber, muitas matérias estudadas em engenharia são utilizadas em cálculos de dimensionamento de estrutura de aço em situação de incêndio, sendo elas a Tecnologia dos Materiais, Mecânica Aplicada, Mecânica e como já citada transferência de calor.

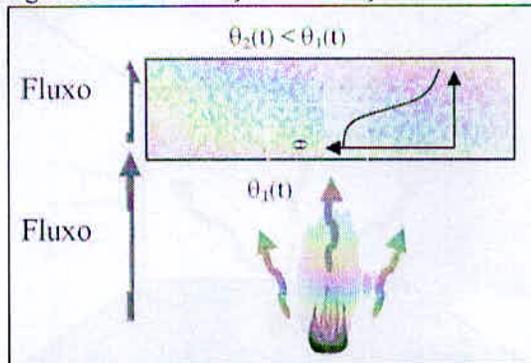
No Brasil, os engenheiros, arquitetos, técnicos e estudantes que completaram o segundo grau têm conhecimento dos conceitos de: condução, radiação e convecção e de calor latente, entretanto dificilmente esses são ligados à segurança contra incêndio (SCI). (SEITO et al. 2008, p.12.).

Por meio da Transferência de Calor pode ser transmitida de três formas, sendo elas: Condução, Convecção e radiação. As mesmas serão respectivamente conceituadas a seguir:

### 2.1.1 Condução

A condução a energia que se propaga através de partícula a partícula, nos sólidos, partindo de uma região de temperatura elevada para uma região com baixa temperatura. Conforme demonstra a Figura 03.

Figura 03 – Conceituação de condução

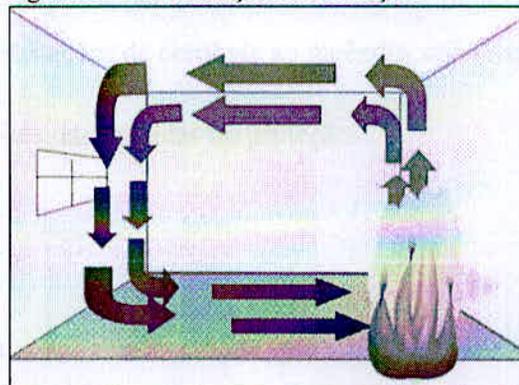


Fonte: (SILVA et al, 2010, p.15).

### 2.1.2 Convecção

Ao decorrer do incêndio os gases liberados pela combustão do material, tem densidade diferente comparado a do ambiente em chamas, gerando um fluxo de calor. Como ilustrado na Figura 04, o gases mais quentes liberados pela combustão tem densidade menor e tendem a ocupar a atmosfera superior do ambiente, enquanto que os gases frios têm densidade maior e ocupam a atmosfera inferior do ambiente.

Figura 04 – Conceituação de convecção

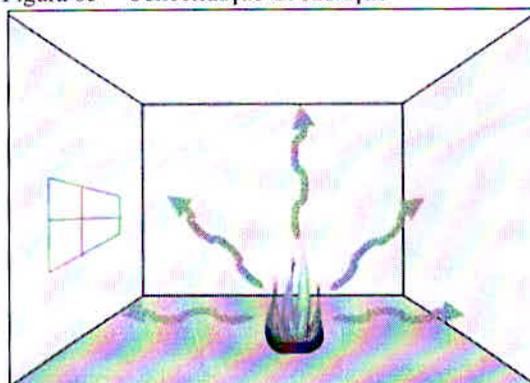


Fonte: (SILVA et al, 2010, p.12).

### 2.1.3 Radiação

Segundo Silva et al (2015), Radiação – o calor radiante transfere-se na forma de propagação de ondas, no gás ou no vácuo, de um corpo à alta temperatura para a superfície de outro à temperatura mais baixa, conforme a Figura 05.

Figura 05 – Conceituação de radiação



Fonte: (SILVA et al, 2010, p.15).

## 2.2 Medidas de proteção contra incêndios

No dimensionamento ou projeto das estruturas utiliza-se o conceito de Segurança Contra incêndios (SCI) em edificações, que engloba todos os conceitos utilizados nos projetos de edifícios em situação de incêndio. Entre os conceitos do SCI, podemos citar as medidas de proteção passiva e ativa.

As medidas de proteção contra incêndios podem ser classificadas em medidas ativas e passivas. A segurança contra incêndios (proteção passiva e ativa), em estrutura de aço tem como principal objetivo proporcionar condições de rápida fuga das pessoas do recinto em chamas e a aproximação das ações de combate ao incêndio seja feita de maneira segura.

A seguir os conceitos das medidas de proteção:

### 2.2.1 Proteção ativa

A proteção ativa visa à redução da probabilidade de incêndios severos, com a implantação no próprio projeto de chuveiros automáticos, hidrantes, detectores de incêndio e fumaça, extintores, etc.

A medidas ativas preveem a existência de meios adequados ao salvamento de pessoas, começando pelo projeto arquitetônico (corredores e escadas amplas, zonas limpas de gases tóxicos, etc.). Essas medidas também visam reduzir a probabilidade de ocorrência de incêndios severos, através da atuação em suas causas acidentais e da detecção de focos e limitações das possibilidades de propagação. (PANNONI, 2015, p.73).

Segundo a NBR 14432 (ABNT, 2000), item 3.22, a proteção ativa possui a seguinte definição:

**3.22 proteção ativa:** Tipo de proteção que é ativada manual ou automaticamente em resposta a estímulos provocados pelo fogo, composta basicamente nas instalações prediais de proteção contra incêndio. (ABNT NBR 14432, 2001, p.2).

A medida de proteção ativa é composta pelos os seguintes componentes:

- Chuveiros automáticos;
- Hidrantes;
- Extintores;
- Detectores de fumaça;
- Iluminação
- Sinalização de rota de fuga, dentre outras.

### 2.2.2 Proteção passiva

A proteção passiva visa reduzir a probabilidade de propagação do incêndio. A proteção passiva é composta por saídas de emergências, compartimentação, acabamento com proteção e revestimento térmico.

As medidas de proteção passivas visam reduzir a probabilidade de colapso estrutural caso ocorra um incêndio severo. Essa probabilidade depende de resistência de um elemento de construção à ação do fogo por período, mantendo sua segurança estrutural (estabilidade, estanqueidade e isolamento). (PANNONI, 2015, p.73).

Em situação de incêndios em edificações a maioria dos óbitos é por asfixia mecânica por consequência dos fumos e gases propagados, provocados pela combustão da carga de incêndio. Por este motivo a proteção passiva deve ser livre de amianto e materiais

cancerígenos, a queima desses materiais pode trazer risco para saúde e até a morte dos usuários do edifício.

Segundo Silveira (1988):

O CO (monóxido de carbono) é altamente explosivo, matando com rapidez, por envenenamento (desoxigenação) do sangue; e o CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) não é tóxico e nem explode. É um gás inerte, não alimentando a combustão, sendo por isso, usado em extintores portáteis. Porém, não pode ser inalado pelo homem, em local fechado, por causar desoxigenação no sangue. (Silveira, 1988, p.22).

Conforme a NBR 14432 (ABNT, 2001) item 3.23, a proteção passiva pode ser definida da seguinte forma:

**3.23 proteção passiva:** Conjunto de medidas incorporadas 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, garantindo resistência ao fogo, facilitando a fuga dos usuários e a aproximação e o ingresso no edifício para o desenvolvimento das ações de combate. (ABNT NBR 14432, 2001, p.2).

A medida de proteção passiva é composta pelos seguintes componentes:

- Saídas de emergências;
- Compartimentação;
- Acabamento com proteção;
- Revestimento térmico.

### 3 ESTRUTURA DE AÇO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Segundo Pannoni (2014), Os projetos estruturais que tratam da resistência ao fogo são baseados no fato de que as altas temperaturas decorrentes de um incêndio reduzem a resistência mecânica e a rigidez dos elementos estruturais da edificação, e, adicionalmente, promovem expansões térmicas diferenciais, podendo levar a estrutura ao colapso, conforme a Figura 06 que apresenta uma estrutura de aço colapsada após um incêndio.

Figura 06 – Estrutura de aço colapsada após um incêndio



Fonte: (WILCOX, et al, 1991, p. 112)

As estruturas de aço são compostas por elementos que interligados entre si, formam um conjunto que possibilitam estabilidade à estrutura. O aço tem que atender as especificações, tendo sempre em conformidade suas propriedades Mecânicas e térmicas.

### 3.1 Propriedades mecânicas do aço

- Módulo de Elasticidade:  $E_a = 200 \text{ GPa}$ ;
- Coeficiente de Poisson:  $\nu_a = 0,3$ ;
- Módulo de Elasticidade transversal:  $G_a = 77 \text{ GPa}$ ;
- Coeficiente de dilatação térmica:  $\beta_a = 1,2 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ ;
- Massa específica:  $\rho_a = 7850 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$

### 3.2 Propriedades térmicas do aço

#### 3.2.1 Condutividade térmica

Segundo NBR 14323 (ABNT, 2003) a condutividade térmica do aço ( $\lambda_a$ ), em Watt por metro e por grau ( $\text{W}/\text{m}^\circ\text{C}$ ), pode ser determinada da seguinte forma.

- Para  $20^\circ\text{C} \leq \theta_a < 800^\circ\text{C}$

$$\lambda_a = 54 - 3,33 \times 10^{-2} \theta_a$$

- Para  $800^{\circ}\text{C} \leq \theta_a \leq 1200^{\circ}\text{C}$

$$\lambda_a = 27,3$$

Onde:

$\theta_a$  é a temperatura do aço, em grau Celsius.

O valor da condutividade térmica pode ser considerado independente da temperatura do aço. Neste caso, o seguinte valor pode ser tomado:

$$\lambda_a = 45 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$$

### 3.2.2 Calor específico

O calor específico do aço ( $c_a$ ), em joule por quilograma e por grau Celsius ( $\text{j/kg}^{\circ}\text{C}$ ), pode ser determinado da seguinte forma:

- para  $20^{\circ}\text{C} \leq \theta_a < 600^{\circ}\text{C}$

$$c_a = 425 + 7,73 \times 10^{-1}\theta_a - 1,69 \times 10^{-3}\theta_a + 2,22 \times 10^{-6}\theta_a$$

- para  $600^{\circ}\text{C} \leq \theta_a < 735^{\circ}\text{C}$

$$c_a = 666 + \frac{13002}{738 - \theta_a}$$

- para  $735^{\circ}\text{C} \leq \theta_a \leq 900^{\circ}\text{C}$

$$c_a = 545 + \frac{17820}{\theta_a - 731}$$

- para  $900^{\circ}\text{C} \leq \theta_a \leq 1200^{\circ}\text{C}$

$$c_a = 650$$

Onde:

$\theta_a$  é a temperatura do aço, em graus Celsius.

Conforme NBR 1432 (ABNT, 2003), o valor do calor específico pode ser considerado independente da temperatura do aço. Neste caso, o seguinte valor pode ser tomado:

$$c_a = 600 \text{ J/Kg}^{\circ}$$

### 3.2.3 Alongamento

Segundo NBR 14323 (ABNT, 2003), o alongamento do aço ( $\Delta l_a/l_a$ ), pode ser determinado da seguinte forma:

- Para  $200^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 750^\circ\text{C}$

$$\Delta l_a/l_a = 1,2 \times 10^{-5} \theta_a + 0,4 \times 10^{-8} \theta_a^2 - 2,416 \times 10^{-4}$$

- Para  $750^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 860^\circ\text{C}$

$$\Delta l_a/l_a = 1,1 \times 10^{-2}$$

- Para  $860^\circ\text{C} < \theta_a \leq 1200^\circ\text{C}$

$$\Delta l_a/l_a = 2 \times 10^{-5} \theta_a - 6,2 \times 10^{-3}$$

Onde:

$l_a$  é o Comprimento da peça de aço a  $20^\circ\text{C}$

$\Delta l_a$  é a expansão térmica da peça de aço provocada pela temperatura;

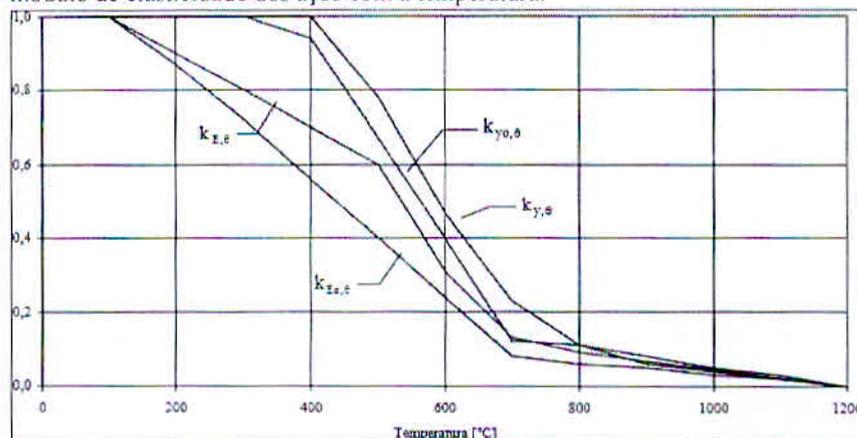
$\theta_a$  é a temperatura do aço, em graus Celsius.

A relação entre o alongamento do aço e a temperatura pode ser considerado constante. Neste caso, pode ser adotado o seguinte valor para o alongamento:

$$\Delta l_a/l_a = 14 \times 10^{-6} (\theta_a - 20)$$

O aço quando é submetido a altas temperaturas, devido aos gases do incêndio tem sua resistência ao escoamento (resistência) e módulo de elasticidade (rigidez) reduzida de acordo com o acréscimo da temperatura. Devido a esta redução da resistência e rigidez a estrutura tem esforços solicitantes e pode levar a estrutura de aço ao colapso, podendo ser parcial ou total. Conforme a Figura 07 apresenta a redução da rigidez dos aços treilados e laminados em função da temperatura em  $^\circ\text{Celsius}$ .

Figura 07 – Variação dos fatores de redução para a resistência ao escoamento e módulo de elasticidade dos aços com a temperatura.



Fonte: (NBR 14323, 2003, p.11).

O aço laminado tem sua resistência ao escoamento ( $k_{y,\theta}$ ) maior em comparação aos aços treilados ( $k_{y0,\theta}$ ).

Onde:

$k_{y,\theta}$  = Resistência ao escoamento dos aços laminados;

$k_{y0,\theta}$  = Resistência ao escoamento dos aços treilados;

$k_{E,\theta}$  = Módulo de elasticidade dos aços laminados;

$k_{E0,\theta}$  = Módulo de elasticidade dos aços treilados.

Quando os aços estruturais são submetidos a temperaturas acima de 550°C, os mesmos perdem cerca de 50% de suas propriedades mecânicas, iniciando assim um processo de instabilidade até chegar ao colapso parcial ou total da estrutura de aço. Tornando-se necessário proteger o aço dos gases e fogo provenientes do incêndio com revestimentos térmicos (material de proteção térmica), visto que em um incêndio a temperatura de 550°C chega rapidamente.

Os elementos estruturais em situação de incêndio fazem sentir diretamente a ação térmica nos mesmos, seja em zonas afastadas no local do sinistro como no compartimento em chamas.

Segundo Panonni (2013), a estrutura de aço encontra-se sobre a ação do peso próprio e sobrecargas de forma no início do incêndio, a mesma está submetida a certo estado de tensão e, portanto, a um estado de deformação. Os elementos estruturais estão mais ou menos interligados e quando alguns deles são submetidos a altas temperaturas mais do que outros, as respectivas dilatações térmicas são restringidas, dando origem ao novo estado de tensão. Quando a referida tensão é mantida constante sobre um elemento estrutural o mesmo poderá

ter sua capacidade resistente esgotada no fim de certo período de tempo, ocasionando o colapso.

Em certas situações não é necessário que o aço entre diretamente em contato com as chamas para causar colapso, pois os elementos mais afastados do compartimento podem entrar em colapso devido às tensões referidas anteriormente.

## **4 NORMAS UTILIZADAS PARA DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURA DE AÇO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO**

### **4.1 Normas internacionais**

Na falta de informações ou insuficientes para a execução de projeto nas normas Brasileira, as normas internacionais podem ser usadas para dimensionamento da estrutura em situação de incêndio, sendo elas: AMERICAN SOCIETY TESTING AND MATERIALS (ASTM E-119/88) – Standard tests methods for fire tests building constructions and materials, INTERNATIONAL STANDARDIZATION FOR ORGANIZATION (ISO 834/1994) – Fire-resistance test – Elements of building construction, EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION – EUROCODE 1 (1995), EUROCODE 3 (1995), EUROCODE 4 (1994), dentre outras.

### **4.2 Normas Brasileiras**

Atualmente no Brasil há duas normas vigentes que regem a Segurança Contra Incêndios. A primeira a ser publicada foi da Associação Brasileira de Normas Técnicas - Norma Brasileira de Regulamentação (ABNT NBR) 14323, intitulada “Dimensionamento de estrutura de aço em situação de incêndio” publicada em 1999, através de consenso da sociedade acadêmica e sendo revisada em Agosto de 2003.

Como norma para complementação em 2000 foi publicada a ABNT NBR 14432, intitulada “Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações”.

Para projeto deve consultar também a Legislação ou Instrução Técnica vigente de cada estado. Para o presente trabalho será utilizada a Instrução Técnica do Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Minas Gerais, para a estrutura de aço em situação de incêndio deve-se consultar a Instrução Técnica 06 (IT, 2005) – Segurança Estrutural das Edificações.

Tanto a Norma Brasileira de Regulamentação 14432 (ABNT, 2000) e IT 06 é composta por método empírica que determina o Tempo Requerido de Resistência ao Fogo – TRRF, este é o tempo mínimo que os materiais construtivos suportam à ação térmica do incêndio antes de atingir a temperatura crítica ( $\theta_{cr}$ ). Temperatura crítica ( $\theta_{cr}$ ) é a temperatura em que o aço perde sua resistência e rigidez e não suporta as cargas solicitantes e entra em colapso.

## 5 TEMPO REQUERIDO DE RESISTÊNCIA AO FOGO – TRRF

Tempo requerido de Resistência ao Fogo - TRRF é definido como tempo mínimo que o elemento construtivo, poderá suportar esforços solicitantes mesmo em altas temperaturas, visando assim à segurança dos ocupantes do edifício. No momento da evacuação é de extrema importância assegurar que os ocupantes saiam da edificação e que os bombeiros combate ao fogo com segurança e preservando à estrutura em sua total integridade. O TRRF varia entre 30, 60, 120 e 240 minutos dependendo da aplicação e destinação.

Segundo Vargas e Silva (2003):

Embora o conceito de TRRF seja aplicado em vários países, os valores variam conforme país. Na Nova Zelândia o TRRF é de 60 minutos. Nos EUA o TRRF pode atingir 180 minutos para pilares de edifícios altos e no Reino Unido o TRRF máximo é de 120 minutos. No Japão o TRRF para edifícios altos é maior para os pavimentos inferiores e menor para os pavimentos superiores (VARGAS; SILVA, 2003, p.20).

O Tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) não pode ser confundido com tempo de evacuação dos usuários, duração do incêndio e muito menos com tempo para os bombeiros chegarem ao local de incêndio.

Segundo a NBR 14432 (ABNT, 2000), o TRRF é o Tempo mínimo de resistência ao fogo, de um elemento construtivo quando sujeito ao incêndio-padrão (seção 6.1). A Tabela 01 apresenta edificações que são isentas da verificação estrutural, salvo, asilos, hospitais, e penitenciárias e edificações que os ocupantes têm dificuldades de locomoção. Notas abaixo da Tabela 01 apresentam observações que devem ser consultadas para entendimento da referida tabela.

Tabela 01- Tabela de Isenções de verificação segurança estrutural, Conforme NBR 14432 (2000)

| Área (1) | Uso   | Carga de incêndio específico (6) | Altura (7)     | Meios de proteção contra incêndio (9) |
|----------|---|----------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| ≤ 750    | Qualquer  | Qualquer                         | Qualquer       | --                                    |
| ≤ 1500   | Qualquer  |                                  | ≤ 2 pavimentos | --                                    |
| Qualquer | Centros esportivos terminais de passageiros (2) | Qualquer                         | ≤ 23 m         | --                                    |
| Qualquer | Garagens abertas (3)                            | Qualquer                         | ≤ 30 m         | --                                    |
| Qualquer | Depósitos (4)                                   | Baixa                            | ≤ 30 m         | --                                    |
| Qualquer | Qualquer  | ≤ 500 MJ/ m <sup>2</sup>         | Térrea (8)     | --                                    |
| Qualquer | Industrial (5)                                  | ≤ 1200 MJ/ m <sup>2</sup>        | Térrea (8)     | --                                    |
| Qualquer | Depósitos (5)                                   | ≤ 2000 MJ/ m <sup>2</sup>        | Térrea (8)     | --                                    |
| Qualquer | Qualquer  | Qualquer                         | Térrea (8)     | Chuveiros Automáticos (9)             |
| ≤ 5000   | Qualquer  | Qualquer                         | Térrea (8)     | Fachada de aproximação (10)           |

Fonte: (SILVA, 2004. P.68).

Notas para as observações referidas entre parênteses na tabela 1, conforme NBR 14432:2001.

- (1) Área total da edificação, observadas as recomendações constantes das normas brasileiras em vigor e de regulamentos de órgãos públicos.
- (2) Uso de F3, F4, F5 (Centros esportivos, terminais de passageiros, construções provisórias, etc.) Exceto as regiões de ocupação distintas. Para  $23\text{m} < h \leq 30\text{m}$  e  $h > 30\text{m}$ , o TRRF deverá ser de 30 minutos e 60 min, respectivamente para subsolos com  $h \leq 10\text{m}$  e  $h > 10\text{m}$ , o TRRF deverá ser de 60 min e 90 min respectivamente.
- (3) Garagens (G1 e G2) abertas lateralmente, etc., com estrutura de concreto armado ou protendido ou de aço que tenham as seguintes condições construtivas: as vigas principais e secundárias devem ser construídas como vigas mistas. Utilizando de conectores de cisalhamento. As lajes de concreto podem ser moldadas no local ou de concreto pré-moldado. Os perfis metálicos devem ter fator de massividade igual ou inferior a  $350\text{ m}^{-1}$ . Os perfis dos pilares devem ter fator de massividade menor ou igual a  $250\text{ m}^{-1}$ . Os elementos escolhidos pelo projetista da estrutura como responsáveis pela estabilidade, em situações de incêndios, devem se verificadas, nesta situação, para um TRRF de 30 min. No caso de ligação flexível entre viga e pilar, o momento fleto negativo próximo ao pilar deve ser absorvido por meio da armadura adicional na laje de concreto. Esta armadura, amenos que cálculos mais precisos

sejam feitos, deve ter 0,2% da área da laje de concreto situada sobre a mesa superior do perfil metálico, segundo um corte perpendicular à viga; Edificação aberta lateralmente é uma edificação ou parte de uma edificação que, em cada pavimento, tenha ventilação permanente, em duas ou mais fachadas externas, seja provida por aberturas que possam ser consideradas uniformemente distribuídas e que tenham comprimentos em planta somados atinjam pelo menos 40% do perímetro e áreas que somadas correspondem a pelo menos 20% da superfície total das fachadas externas: ou tenha ventilação permanente em duas ou mais fachadas, seja provida por aberturas cujas áreas somadas correspondam pelo menos 1/3 da superfície total das fachadas externas, e que pelo menos 50% destas áreas abertas estejam situado em duas fachadas opostas. Em qualquer caso, as áreas das aberturas, nas fachadas externas, somadas devem corresponder pelo menos 5% da área do piso, no pavimento, e as obstruções internas eventualmente existentes devem ter pelo menos 20% de suas áreas abertas, com aberturas dispostas de forma que possam ser consideradas uniformemente distribuídas, para permitir ventilação.

- (4) Uso J1 (Depósitos sem risco de incêndio expressivo), com estrutura de concreto armado ou protendido ou de aço;
- (5) Observados os critérios de compartimentação constantes das normas brasileiras em vigor e de regulamentos de órgãos públicos;
- (6) Altura de edificação é a distância compreendida entre o ponto que caracteriza a saída situada no nível de descarga do prédio e o piso do último pavimento, excetuando-se zeladorias, barrilete, casa de máquinas, piso técnico e pisos sem permanência humana;
- (7) Edificação térrea é a edificação de apenas um pavimento, podendo possuir um piso elevado com área inferior ou igual à terça parte da área do piso situado no nível de descarga;
- (8) Conforme Normas Brasileiras em vigor;
- (9) Com pelo menos duas fachadas de aproximação, Segundo a NBR 14432, fachada de aproximação é a fachada da edificação localizada ao longo de uma via pública privada, com largura livre maior por igual a 6m, sem obstrução, possibilitando o acesso e o posicionamento adequado dos equipamentos de combate a incêndio. A fachada deve possuir pelo menos um meio de acesso ao interior do edifício e não ter obstáculos que perfaçam no mínimo 50% do perímetro;
- (10) As isenções não se aplicam: às edificações cujos ocupantes tenham restrição de mobilidade, como no caso de hospitais, asilos e penitenciárias; à cobertura da edificação como função de piso mesmo que seja para saída de emergência; à estrutura da edificação que, a

critério de responsável técnico pelo projeto estrutural, for estrutural, for essencial à estabilidade de um elemento de compartimentação.

Podemos obter de forma empírica valores para o Tempo Requerido de Resistência ao Fogo - TRRF das edificações conforme tipo de ocupação e altura da edificação, através da tabela 2. Ao analisar a tabela podemos concluir que quanto maior a edificação, maior será o TRRF, ou seja, maior será o tempo em que a estrutura de aço terá que se manter em perfeito estado para que a fuga dos usuários seja feita de forma segura e rápida.

Tabela 02- Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (em minutos) – TRRF

| Grupo | Ocupação                                     | Divisão  | Profundidade de subsolo |                       | Altura da Edificação |                           |                            |                            |                      |
|-------|--|--|-------------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------|
|       |  |  | Classe S2<br>hs > 10m   | Classe S1<br>hs ≤ 10m | Classe P1<br>h ≤ 6m  | Classe P2<br>6m < h ≤ 12m | Classe P3<br>12m < h ≤ 23m | Classe P4<br>23m < h ≤ 30m | Classe P5<br>h > 30m |
| A     | Residencial                                  | A-1 a A-3                                      | 90                      | 60(30)                | 30                   | 30                        | 60                         | 90                         | 120                  |
| B     | Serviços 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-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 e F-8                        | 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                         | 90                         | 120                  |
| 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                     | 60                    | 60(30)               | 60(30)                    | 90(60)                     | 120(90)                    | 120                  |
| J     | Depósitos                                    | J-1  | 90                      | 60(30)                | 30                   | 30                        | 30                         | 30                         | 60                   |
|       |  | J-2  | 120                     | 60                    | 60                   | 60                        | 90(60)                     | 120(90)                    | 120                  |

Fonte: Tabela extraída da NBR 14432:2003

Notas sobre a tabela 2, conforme NBR 14432:2001.

- Os tempos entre parênteses podem ser usados em subsolos nos quais a área bruta de cada pavimento seja menor ou igual a  $500m^2$  e em edificações nas quais cada pavimento acima do solo tenha área menor ou igual a  $750m^2$ .
- O grupo, a ocupação/uso e a divisão estão discriminados no anexo A do presente trabalho.
- O TRRF das vigas que não pertençam ao sistema responsável pela estabilidade estrutural da edificação não necessita ser maior do que 60 minutos, exceto para edificações com altura superior a 45m, para as quais o TRRF não necessita ser maior do que 90 minutos.
- O TRRF das lajes de edificação não necessita ser maior do que 90 minutos, exceto para edificações com altura superior a 45m.
- Na mesma Edificação, O TRRF do subsolo não pode ser tomado menor do que o dos pavimentos situados acima do solo.
- Os elementos estruturais podem ser construídos sem a resistência ao fogo pela NBR 14323, desde que se demonstre que estejam livres da ação do incêndio. O elemento estrutural situado no exterior do edifício pode ser considerado livre da ação do incêndio quando o seu afastamento das aberturas existentes na fachada for o suficiente para garantir que a elevação de temperatura a que será submetido não conduzirá ao colapso. O elemento estrutural confinamento tenha resistência ao fogo pelo menos igual á que seria exigida para o elemento.
- Todas as edificações devem possuir as saídas de emergências dimensionadas conforme a NBR 9077 (ABNT, 1993).

Segundo a NBR 14432 (ABNT, 2003), valem as seguintes definições:

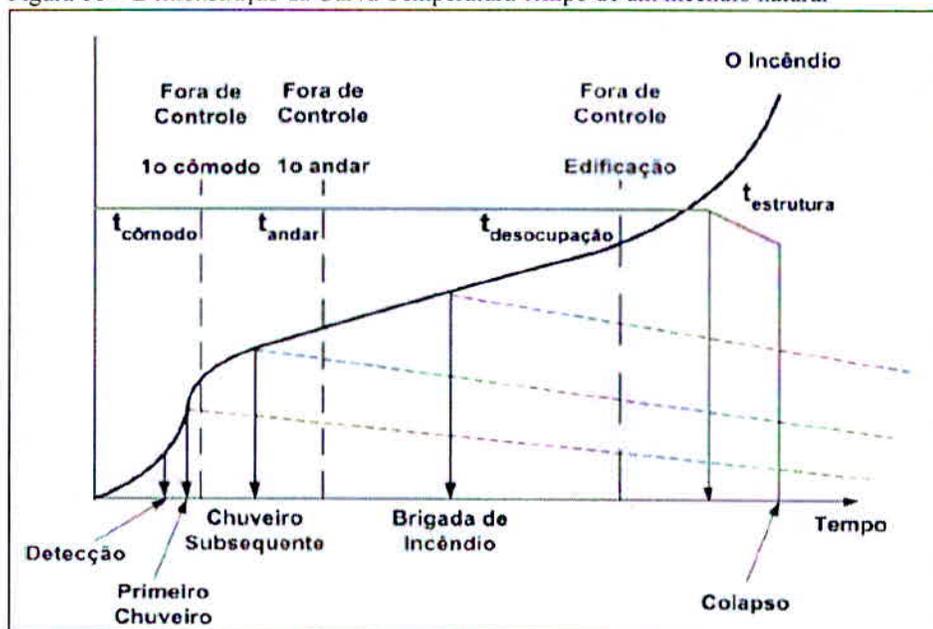
- Edificações com subsolo é a edificação com subsolo é a edificação ou parte de edificação cujo piso tenha algum ponto situado a mais da metade da altura do pavimento abaixo do nível de descarga da edificação:
- Nível de descarga é o nível no qual uma porta de saída conduz ao exterior do edifício;
- Piso é a superfície superior do elemento construtivo horizontal, sobre a qual haja previsão de estocagem de materiais ou à qual os usuários da edificação tenham acesso irrestrito;

- Área bruta do pavimento é a medida, em qualquer pavimento de uma edificação, do espaço compreendido pelo perímetro interno das paredes externas e das paredes corta-fogo, excluindo a área das antecâmaras e dos recintos fechados de escadas e rampas.
- Saída de emergência é o Caminho contínuo, devidamente protegido, proporcionado por portas, halls, passagens externas, balcões, vestíbulos, escadas, rampas ou outros dispositivos de saída ou combinações desses, a ser percorrido pelo usuário, em caso de incêndio, de qualquer ponto da edificação até atingir avia pública ou espaço aberto, protegido do incêndio, em comunicação com o logradouro.

## 6 MODELOS DE INCÊNDIOS

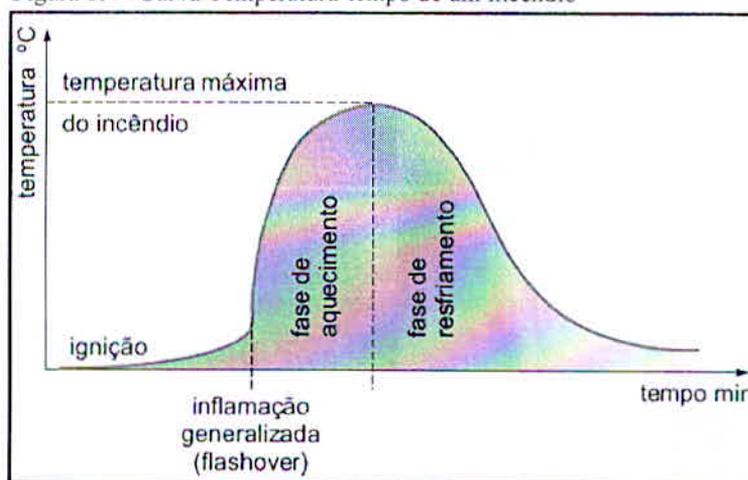
A principal característica de um incêndio é a curva temperatura-tempo (Figura 08), curva que é a temperatura dos gases (Celsius) em função do tempo (minutos). A referida curva define a temperatura máxima que os elementos estruturais atingem em determinado tempo. Conforme a Figura 07 apresenta a curva Temperatura-tempo de um incêndio natural fora de controle ocasionando colapso estrutural.

Figura 08 – Demonstração da Curva Temperatura-tempo de um incêndio natural



Fonte: (PANNONI, 2014, p.76).

Figura 09 – Curva Temperatura-tempo de um incêndio



Fonte: (SILVA, 2003, p.17).

Conforme a Figura 08, será apresentada a definição de cada fase:

**Fase de ignição Pré-flashover:** Nesta etapa as temperaturas dos gases ainda são baixas, tornando o incêndio de pequenas proporções. Deixando claro que a edificação possui a medida de proteção ativa contra incêndios, ou seja, a presença de extintores, hidrantes, detectores de fumaça, chuveiros automáticos, enfim medidas de proteção que podem ser ativadas manualmente ou automaticamente para a extinção do sinistro. Nesta fase como o incêndio é de pequenas proporções, não há a necessidade da verificação estrutural ou qualquer tipo de análise térmico.

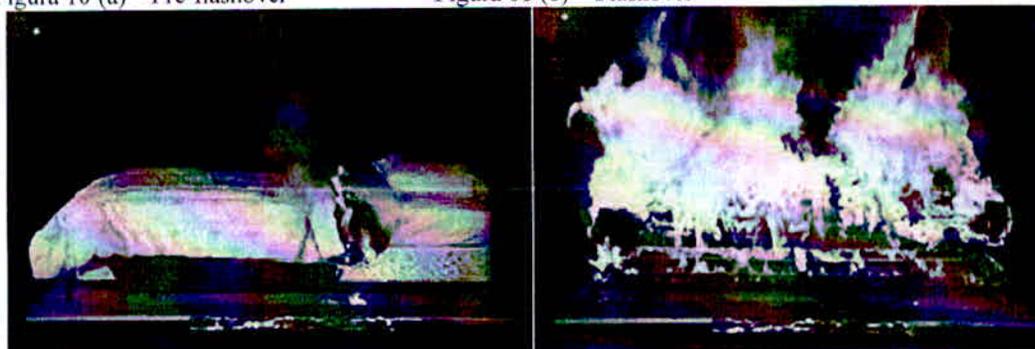
**Fase de aquecimento:** Denominada também como Flashover ou inflamação generalizada, nesta fase à curva apresenta crescimento abrupto, tornando o incêndio de grandes proporções, o incêndio somente será controlado quando o todo combustível (carga de incêndio) entrar em combustão, lembrando que o combustível pode ser bens existentes dentro do ambiente, revestimentos de pisos, tetos e paredes.

**Fase de resfriamento:** fase em que a temperatura tem sua curva decrescente, concluindo que a carga de incêndio foi consumida pela combustão ou o fogo controlado pela ação dos bombeiros.

A Figura 10 (a) e (b) apresenta o conceito da Curva temperatura-tempo. Figura (a) é o começo do incêndio, Pré-flashover. Na figura (b) depois de 5 minutos do começo do ignição, resulta no Flashover ou inflamação generalizada.

Figura 10 (a) – Pré-flashover

Figura 08 (b) – Flashover



Fonte: (SILVA, 2004, p.16).

### 6.1 Modelo incêndio-padrão

Conforme a NBR 14432 (ABNT, 2003), incêndio-padrão é a elevação da temperatura em função do tempo, dada pela seguinte expressão 1.1:

$$\theta_g = \theta_o + 345 \log (8t + 1) \quad \text{exp 1.1}$$

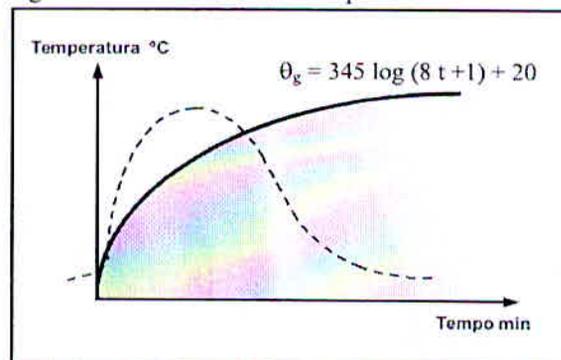
Onde:

$\theta_g$  é a temperatura dos gases, em graus Celsius, no instante  $t$ ;

$\theta_o$  é a temperatura ambiente antes do aquecimento, em graus Celsius, geralmente tomada igual a 20°C;

$t$  é o tempo, em minutos.

Figura 11 – Modelo do incêndio-padrão



Fonte: (SILVA, 2004, p.

### 6.1.1 Temperatura dos gases em função do tempo conforme ISO 834: 1994

INTERNATIONAL STANDARDIZATION FOR ORGANIZATION (ISO 834/1994)  
 – Fire-resistance test – Elements of building construction, a norma internacional recomenda o uso da expressão 1.1 para determinação dos valores das temperatura dos gases no ambiente que se encontra em chamas. A Tabela 03 apresenta os valores da temperatura (°C) encontrados a partir do tempo (min).

$$\theta_g - \theta_{g,o} = 345 \log_{10} (8t + 1) \quad \text{exp 1.2}$$

$\theta_g$  – temperatura dos gases no ambiente em chamas (°C)

$\theta_{g,o}$  - temperatura dos gases no instante  $t = 0$ , geralmente admitida 20°C

T – tempo (min)

Tabela 03 - Temperatura dos gases em função do tempo conforme ISO 834

| Tempo (min) | Temperatura (°C) | Tempo (min) | Temperatura (°C) |
|-------------|------------------|-------------|------------------|
| 0           | 20               | 65          | 957              |
| 5           | 576              | 70          | 968              |
| 10          | 678              | 75          | 979              |
| 15          | 739              | 80          | 988              |
| 20          | 781              | 85          | 997              |
| 25          | 815              | 90          | 1006             |
| 30          | 842              | 95          | 1014             |
| 35          | 865              | 100         | 1022             |
| 40          | 885              | 105         | 1029             |
| 45          | 902              | 110         | 1036             |
| 50          | 918              | 115         | 1043             |
| 55          | 932              | 120         | 1049             |
| 60          | 945              |             |                  |

Fonte: (Silva, 2001, p.32).

### 6.1.2 Temperatura dos gases em função do tempo conforme ASTM E 119: 2000

AMERICAN SOCIETY AND MATERIALS por meio da ASTM E – 119 (1988) - Standard test methods for fire testes of building constructions and material. West Conshohocken (USA), recomenda o uso da Tabela 04, valores das temperaturas fora obtidas

através de incêndios reais nos ensaios de pilares. Os ensaios foram realizados na UL – Underwrites Laboraty de chicago em 1916.

Tabela 04 - Temperatura dos gases em função do tempo conforme ASTM E 119: 2000

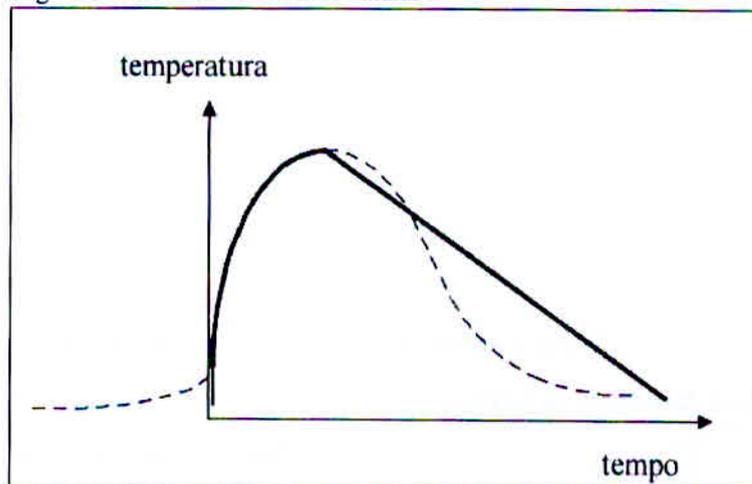
| Tempo (min) | Temperatura (°C) | Tempo (min) | Temperatura (°C) |
|-------------|------------------|-------------|------------------|
| 0           | 20               | 55          | 916              |
| 5           | 538              | 60          | 927              |
| 10          | 704              | 65          | 937              |
| 15          | 760              | 70          | 946              |
| 20          | 795              | 75          | 955              |
| 25          | 821              | 80          | 963              |
| 30          | 843              | 85          | 971              |
| 35          | 862              | 90          | 978              |
| 40          | 878              | 120         | 1010             |
| 45          | 892              | 240         | 1093             |
| 50          | 905              | 480         | 1260             |

Fonte: (Silva, 2001, p.33).

## 6.2 Modelo incêndio natural

Incêndio natural é a variação da temperatura tendo como principais características, a ventilação, geometria do ambiente em chamas, carga de incêndio específica, ou seja, simula um incêndio real.

Figura 12– Modelo do Incêndio natural



Fonte: (SILVA, 2001, p. 30).

Para a determinação da curva temperatura-tempo do incêndio natural é necessário

- a) Carga de incêndio;
- b) Carga de incêndio específico;
- c) Grau de ventilação.

### 6.2.1 Carga de incêndio

Segundo NBR 14432 (ABNT, 2001), item 3.3:

**3.3 Carga de incêndio:** Soma das energias caloríficas que poderiam ser liberadas pela combustão completa de todos os materiais combustíveis em um espaço, inclusive das paredes divisórias, tetos e paredes.

#### 6.2.1.1 Carga de incêndio específico

Segundo NBR 14432:2001, item 3.4:

**3.4 Carga de incêndio específico:** Valor da carga de incêndio dividido pela área de piso considerado.

### 6.2.2 Grau de ventilação

Segundo Silva (2001), a presença de oxigênio no ambiente tem a configuração de comburente sendo o alimento para o incêndio. O parâmetro associado à quantidade de oxigênio no compartimento utilizando por meio de análise experimental e numérica é o grau de ventilação do compartimento, representado pelo fator de abertura  $\vartheta$ .

$$\vartheta = \frac{A_v \sqrt{h}}{A_t} \quad \text{exp 1.3}$$

Onde:

$\vartheta$  = Grau de ventilação, valor das aberturas de portas e janelas

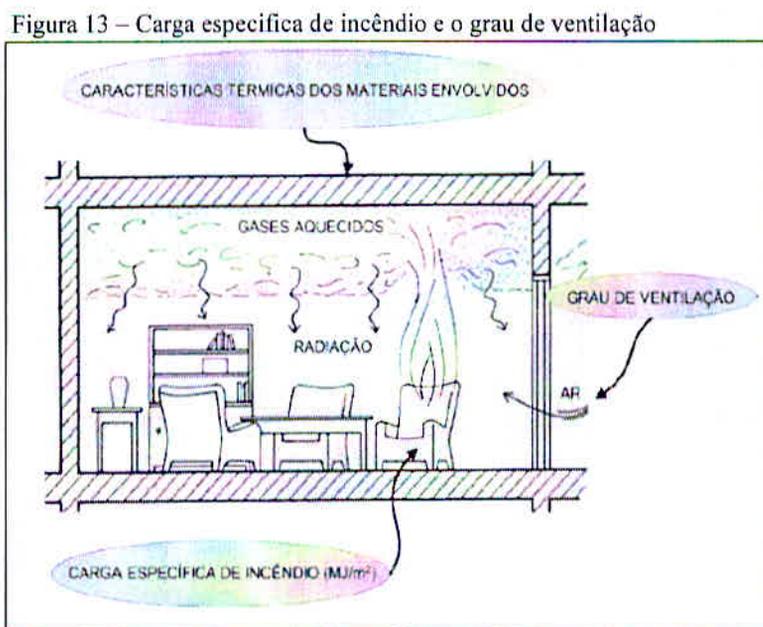
$A_v$  = Área total das aberturas para o ambiente externo ao ambiente, incluindo janelas que supõem quebradas durante um incêndio;

$A_t$  = Área total, incluindo vedação (parede, pisos e tetos) e aberturas;

$h$  = Altura média das aberturas  $i \sum (h_i A_i) / A_v$ ;

$h_i$  = Altura da abertura  $i$ , sendo  $\sum A_i = A_v$ .

A Figura 13 demonstra a aplicação em um ambiente da carga específica e do grau de ventilação em um ambiente em chamas.



Fonte: (PANNONI, 2014. P.15).

## 7 DIMENSIONAMENTO DA ESPESSURA DO REVESTIMENTO TÉRMICO

As espessuras dos revestimentos térmicos são obtidas através do Tempo Requerido de Resistência ao Fogo - TRRF e da Carta de cobertura. Sendo TRRF fornecido pela NBR 14432 (ABNT, 2000) e a carta de cobertura especificada pelos fabricantes em catálogos de acordo com o tipo de revestimento térmico.

Para a determinação da espessura do revestimento térmico, geralmente da tinta intumescentes e matérias projetadas, é usado a Carta de cobertura, através da TRRF em função do fator de massividade.

Para a determinação da espessura as placas rígidas e semirrígidas, através de cálculos e tabelas são dispensáveis, pois as mesmas são pré-fabricadas tendo a sua espessura certificada pelo fabricante.

## 7.1 Fator de massividade

Segundo Silva (2001), o fator de massividade é a relação entre perímetro exposto ao fogo ( $u$ ) e a área da seção transversal da barra ( $A$ ). O fator de massividade pode ser determinado pela expressão 1.4.

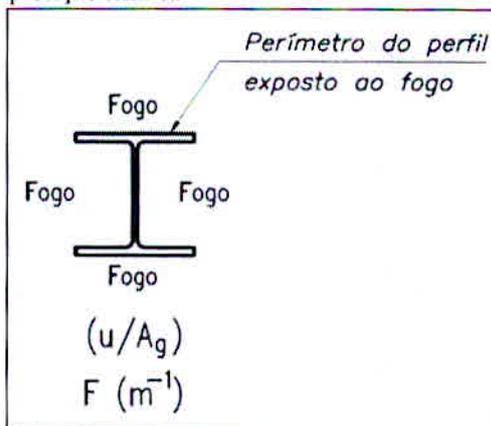
$$F = \frac{u}{A} (m^{-1}) \text{ exp 1.4}$$

Onde:

- $u/A_g$  é o Fator de massividade para elementos estruturais de aço sem revestimento térmico contra fogo, em um por metro;
- $u$  é o perímetro exposto ao incêndio do elemento estrutural de aço, em metros;
- $A_g$  é a área bruta da seção transversal do elemento estrutural, em metro cúbicos.

A Figuras 15 ilustra um perfil e sua respectiva expressão para a determinação do fator de massividade sem proteção térmica. Referida tabela extraída da NBR 14323 (2003).

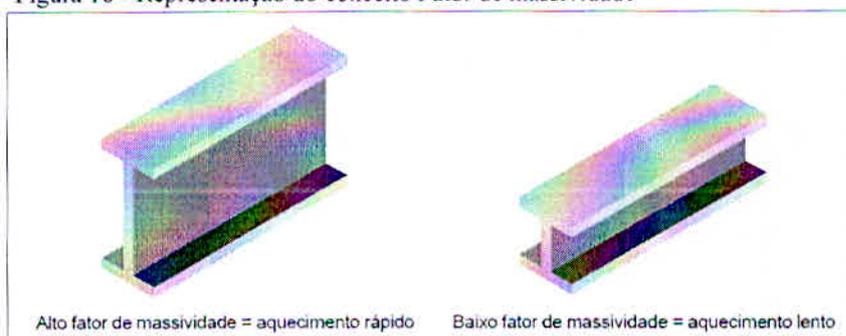
Figura 15 – Fator de massividade de um perfil sem proteção térmica



Fonte: (ABNT NBR 14323, 2003, p.35).

Segundo Pannoni (2015), Quanto maior o fator de massividade, mais rápido será o aquecimento. Assim como quanto mais baixo o fator de massividade, menor o tempo de aquecimento. A Figura 16 ilustra o conceito referido anteriormente.

Figura 16 - Representação do conceito Fator de massividade

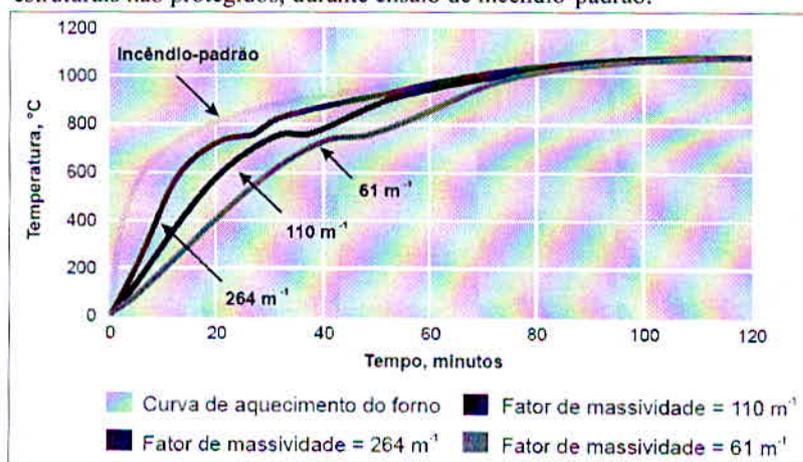


Fonte: (PANONNI, 2015, p.79).

Através da curva de aquecimento dos perfis (Figura 17) podemos concluir que o perfil que tem baixo fator de massividade (robusto), ou seja, baixa velocidade de aquecimento necessita de menos material de proteção térmica. Os perfis com alto fator de massividade (esbelto) tem a velocidade maior, concluindo que os perfis com alto fator de massividade deverá utilizar mais material de proteção térmica.

Assim é importante a determinação do fator de massividade, também é necessário a utilização de carta de cobertura para determinar a espessura do revestimento térmico (material de proteção térmica).

Figura 17 - Curva de velocidade de aquecimento de três diferentes perfis estruturais não protegidos, durante ensaio de incêndio-padrão.



Fonte: (PANONNI, 2015, p.79).

## 7.2 Carta de cobertura

Para o dimensionamento da espessura do revestimento térmico, a utilização da carta de cobertura é fundamental, para não desperdiçar material ou usar menos do que o perfil metálico necessita para ser protegido, as mesmas são disponibilizadas pelos fabricantes dos materiais de proteção térmico desejado. Conforme Figura 05, a carta de cobertura será sempre em função do fator de massividade e do Tempo Requerido de Resistência ao Fogo – TRRF, a espessura e expressa em mm. A tabela 05 apresenta um exemplo de carta de cobertura para argamassa projetada.

Tabela 05 – Exemplo de Carta de cobertura para argamassa projetada

| Fator de massividade | Espessura seca, em mm, para fornecer um TRRF (minutos) de |    |    |     |
|----------------------|---|----|----|-----|
|                      | 30  | 60 | 90 | 120 |
| 30                   | 10  | 10 | 10 | 12  |
| 50                   | 10  | 10 | 13 | 16  |
| 70                   | 10  | 10 | 15 | 20  |
| 90                   | 10  | 12 | 17 | 22  |
| 110                  | 10  | 13 | 18 | 24  |
| 130                  | 10  | 14 | 19 | 25  |
| 150                  | 10  | 14 | 20 | 27  |
| 170                  | 10  | 15 | 21 | 28  |
| 190                  | 10  | 15 | 22 | 29  |
| 210                  | 10  | 16 | 22 | 29  |
| 230                  | 10  | 16 | 23 | 30  |
| 250                  | 10  | 16 | 23 | 30  |
| 270                  | 10  | 17 | 24 | 31  |
| 290                  | 10  | 17 | 24 | 31  |
| 310                  | 10  | 17 | 24 | 32  |

Interpolação linear é permitida entre os valores de Fator de Massividade.

Fonte: (PANONNI, 2015, p.65).

## 8 REVESTIMENTOS TÉRMICOS PARA ESTRUTURAS DE AÇO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

O primeiro revestimento térmico conhecido foi patenteado em 1722 por David Hartley, que consistia de um sistema de placas metálicas separadas por areia. Utilizado para prevenção do alastramento do incêndio entre andares adjacentes, como as casas daquela época eram construídas de madeiras, a possibilidade de propagação de um incêndio e seu alastramento era muito elevada. Por este motivo as casas de madeira foram substituídas pelo ferro.

No final do século XIX percebeu-se que não bastava somente a substituição da madeira pelo ferro fundido, pois o ferro quando submetido a altas temperaturas e logo em seguida resfriado devido a ações de combate às chamas, o mesmo tinha o surgimento de patologias como fissuras e trincas na estrutura. Podendo a partir do grau da patologia levar a estrutura ao colapso parcial ou total. Anos mais tarde o ferro fundido foi substituído pelo aço estrutural. Entretanto o ferro e o aço, são um material que a altas temperaturas perdem a resistência e rigidez, quando aquecido até a 550°C, perde cerca de 40% de suas propriedades mecânicas, diante desta evidência houve a necessidade de proteger o aço para evitar o colapso da estrutura, devido ao incêndio. O aço pode ser protegido dos gases e chamas de um incêndio, com a utilização de revestimentos térmicos disponíveis no mercado.

Revestimento térmico são materiais construtivos que são aplicados diretamente no perfil metálico, que visam proteger o aço estrutural das ações térmicas provenientes dos gases e chamas de um eventual incêndio evitando um colapso estrutural e assim os ocupantes das estruturas possam evacuar rapidamente com segurança.

Os materiais de proteção térmica devem ter características obrigatórias para seu desempenho eficaz, sendo elas: Baixa condutividade térmica, baixa massa específica, alto calor específico, resistência mecânica, garantia de integridade durante a evolução do incêndio e custo compatível.

Segundo Vargas e Silva (2003), afirmam que a solução frequentemente utilizada para o controle do aumento excessivo da temperatura nas estruturas de aço em situação de incêndio é revesti-las com revestimento térmico, conhecido também como materiais de proteção térmica.

As edificações que se enquadram na norma NBR 14432 (ABNT, 2001), (conforme descrito na seção 5, Tabela 02) devem proteger a edificação com o revestimento térmico de modo a garantir a estabilidade estrutural por determinado tempo. Levando em consideração as

características da edificação, segundo ocupação e altura, a norma disponibiliza o TRRF – Tempo Requerido de Resistência ao Fogo.

Os revestimentos térmicos são testados pelo Instituto Tecnológico de Pesquisa – IPT, no estado de São Paulo. Tais testes podem ser feitos em laboratórios nacionais ou estrangeiros.

A NBR 14323 (ABNT, 2003) define em sua alínea 5.3 – Materiais de proteção contra incêndio:

[...] as propriedades térmicas e mecânicas, a aderência ao aço e a eficiência das juntas dos materiais de proteção contra incêndios devem ser determinadas por meio de ensaios realizados em laboratório nacional ou laboratório estrangeiro, de acordo com a NBR 5628/2001 ou de acordo com outra norma brasileira, ou ainda, de acordo com normas ou especificação estrangeira. (ABNT NBR 14323, 2003, p. 8).

Vários revestimentos térmicos estão disponíveis no mercado, a escolha dependerá do uso que será destinado na estrutura, tomando cuidado para o mesmo não inviabilizar a obra, tornando a proteção térmica acima do orçamento disponível ou acima do peso próprio da estrutura, caso este fato ocorra o redimensionamento da estrutura terá de ser feito.

O TRRF dos revestimentos térmicos disponíveis no mercado é especificado pelos fabricantes dos mesmos, mas podem atingir o TRRF de 30, 60, 90, 120 e 240 min, dependendo da aplicação

Segundo Mendes (2006), os revestimentos térmicos são classificados em três fatores: Quanto à morfologia, quanto à técnica de aplicação e material constituinte.

A seguir a descrição de cada fator:

- a) Quanto à morfologia: Dos tipos contorno, caixa com vãos e caixas sem vãos.
- b) Quanto à técnica de aplicação: Moldados com uso de formas, aplicados manualmente, aplicados por jateamento, fixados por dispositivos especificados ou montados.
- c) Quanto ao material constituinte: Alvenaria, concreto de cimento Portland, concreto leve, argamassa à base de concreto, de fibras minerais, de vermiculita ou de gesso, mantas de fibras cerâmicas, fibras minerais ou lã de rocha, tintas intumescentes, entre outros.

A seguir serão apresentados os revestimentos térmicos mais utilizados na proteção térmica das estruturas de aço:

## 8.1 Materiais Projetados

Materiais projetados são revestimentos térmicos que como o nome se refere é um material que sua aplicação é feita através de projeção feita por um spray. A argamassa projetada, por exemplo, é colocada dentro de um compressor que através da pressão é projetada no elemento estrutural. O material projetado possui a vantagem de ser a forma mais barata de revestir e alta velocidade de aplicação, mas possui a desvantagem de não possuir um perfeito acabamento tendo a aparência rústica, necessitando de acabamento final. A tabela 06 apresenta as vantagens e desvantagens do uso dos Materiais projetados, segundo PCF Soluções.

Tabela 06– Vantagens e desvantagens do uso dos Materiais projetados

| Vantagens  | Desvantagens                               |
|--|--|
| Menor custo dentre todos os materiais              | Aspecto visual rústico                     |
| Maior velocidade de aplicação                      | Baixa resistência a impactos mecânicos     |
| Dispensa o uso de tratamento superficial e primers | Não deve permanecer exposto a intemperismo |
| Durabilidade equivalente à vida útil da edificação |  |

Fonte: PCF Soluções (2015)

### 8.1.1 Argamassas projetadas

As argamassas projetadas são compostas de alto índice de materiais aglomerante, tais como, gesso e cimento, misturados a seco e aplicados diretamente na estrutura, dispensando o uso de pinos, telas ou qualquer outro tipo de fixação. São aplicadas por jateamento (spray), é um dos produtos econômicos, mas considerado sem acabamento adequado. A argamassa projetada possui baixa massa específica aproximadamente  $340 \text{ Kg/m}^3$ . Produto atóxico, ou seja, em contato com o fogo não libera gases atóxicos, bem como não há presença de asbesto e amianto em sua composição.

Argamassa projetada (Figura 17) não é um produto higroscópico, ou seja, como em sua composição tem somente 14% de água (em formas de cristais), não contribui para a corrosão da estrutura de aço. Sendo fabricado com inseticida, não permitindo a proliferação de fungos e bactérias ou ainda alojamento de insetos em sua estrutura.

Figura 17 – Argamassa projetada em um dos edifícios da Vale S.A.



Fonte: PCF Soluções (2015).

A Tabela 07 apresenta para a carta de cobertura para argamassa projetada Monokote MK6.

Tabela 07 – Espessura (mm) da argamassa projetada Monokote MK6, em função do fator de massividade F e do TRRF, para 650°C

| F ( $m^{-1}$ ) | TRRF |    |    |     |
|----------------|------|----|----|-----|
|                | 30   | 60 | 90 | 120 |
| 30             | 10   | 10 | 10 | 10  |
| 60             | 10   | 10 | 10 | 10  |
| 70             | 10   | 10 | 10 | 12  |
| 80             | 10   | 10 | 10 | 13  |
| 90             | 10   | 10 | 11 | 15  |
| 100            | 10   | 10 | 12 | 17  |
| 110            | 10   | 10 | 14 | 18  |
| 120            | 10   | 10 | 15 | 20  |
| 130            | 10   | 11 | 16 | 22  |
| 140            | 10   | 11 | 17 | 23  |
| 150            | 10   | 12 | 19 | 25  |
| 160            | 10   | 13 | 20 | 27  |
| 170            | 10   | 14 | 21 | 28  |
| 180            | 10   | 15 | 22 | 30  |
| 190            | 10   | 15 | 24 | 32  |
| 200            | 10   | 16 | 25 | 34  |
| 210            | 10   | 17 | 26 | 35  |
| 220            | 10   | 18 | 27 | 37  |
| 230            | 10   | 19 | 29 | 39  |
| 240            | 10   | 20 | 30 | 40  |
| 250            | 10   | 20 | 31 | 42  |
| 260            | 10   | 21 | 32 | 44  |
| 270            | 10   | 22 | 34 | 45  |
| 280            | 11   | 23 | 36 | 47  |
| 290            | 11   | 24 | 36 | 48  |
| 300            | 12   | 24 | 36 | 48  |

Fonte: Grace (2015)

### 8.1.2 Fibras projetadas

Composta lã de rocha e materiais aglomerante, sendo os materiais aglomerante em menor quantidade, são de baixa densidade  $240 \text{ kg/m}^3$  utilizada em interiores e exteriores. A fibra projetada (Figura 18) é aplicada diretamente na superfície do aço possui aplicação rápida, não necessitando o tempo de cura.

Figura 18 - Fibra projetada



Fonte: Unifrax

A Tabela 08 é a carta de cobertura utilizada para o dimensionamento da espessura do material de proteção térmica.

Tabela 08 – Espessura (mm) do painel Thermax-PEM em função do fator de massividade F e do TRRF, para  $\theta_{cr} = 550^\circ\text{C}$

| F ( $\text{m}^{-1}$ ) | 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  |

Fonte: Rock Fibras (2015).

## 8.2 Placas rígidas ou semirrígidas

Placas rígidas ou semirrígidas são materiais que possui uma ótima aparência, mas não possui resistência de impactos e a umidade. As placas rígidas ou semirrígidas são compostas pelas: Placas de gesso acartonado, placa de lã de rocha e mantas cerâmicas.

Segundo Vargas e Silva

[...] placas são elementos pré-fabricados fixados na estrutura por meio de pinos ou perfis leves de aço, proporcionando diversas possibilidades de acabamento. Geralmente são compostas de com matérias fibrosas ou vermiculita ou gesso combinação desses materiais. (VARGAS, SILVA, 2003, p.42)

A Tabela 09 apresenta as vantagens e desvantagens da utilização das placas rígidas e semirrígidas na proteção contra incêndio nas estruturas de aço.

Tabela 09 – Vantagens e desvantagens das placas rígidas e semirrígidas

| Vantagens           | Desvantagens  |
|---------------------|---|
| Instalação limpa    | Esconde estrutura metálica  |
| TRRF de 120 minutos | Demorar para instalação das placas  |
|                     | Sem flexibilidade acompanhar a estrutura  |
|                     | Espessura e peso muito elevados, necessitando em alguns casos o redimensionamento das cargas estruturais. |

Fonte: CKC (2015).

### 8.2.1 Placas de gesso acartonado resistente ao fogo (GARF)

As placas de gesso acartonado são semelhantes a placas “dry-wall” convencionais, mas há no mercado placas de gesso acartonado com características específicas para proteger contra o fogo às estruturas de aço.

O painel de gesso acartonado é disponibilizado três tipos no mercado, sendo eles: Placa ST- Standard, Placa RF – Resistente ao fogo e Placa RU – Resistente à umidade. A Placa RF (conforme a Figura 19) é indicada para revestir a estrutura de aço para evitar a aproximação das chamas do perfil, como a placa de gesso acartonado resistente ao fogo (GARF), é composta por 20% de água em contato com fogo, a água quimicamente combinada e liberada na forma de vapor, atuando como barreira térmica, até que complete o processo de calcinação da gipsita. As placas GARF contêm produtos que não propagam as chamas em sua fórmula, possibilitando especificações precisas atendendo o TRRF necessário.

Figura 19 - Placa de gesso acartonado – Resistente ao fogo RF



Fonte: Knauf (2015).

A Tabela 10 é a carta de cobertura resumida para o dimensionamento da placa de gesso acartonado (GARF).

Tabela 10 – Espessura (mm) da placa de gesso acartonado (GARF), para  $\theta_{cr} = 550^{\circ}\text{C}$

| u/A (m <sup>-1</sup> ) | TRRF (minutos) |          |          |          |
|------------------------|----------------|----------|----------|----------|
|                        | 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 |

Fonte: ( catalogo Plantres Lafarge, 2010).

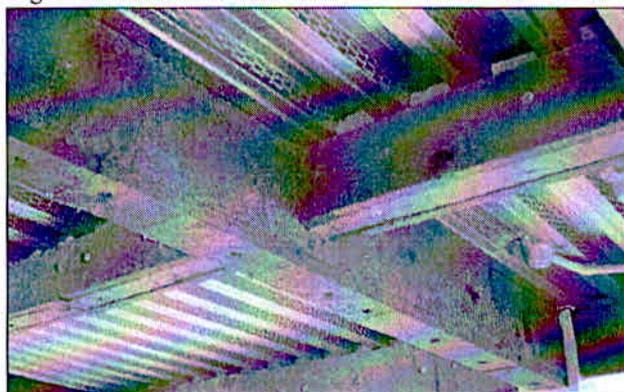
### 8.2.2 Placas de lã de rocha

Segundo a fabricante THERMAX® a lã de rocha é produzida a partir de matérias-primas abundantes na natureza (rocha basáltica e outros minerais) e recicladas (escória metalúrgica). Após sua fusão a  $1500^{\circ}\text{C}$ , estes minerais são transformados em fibras por centrifugação. Estas finas fibras (6 – 8 micra) são, então, aglomeradas com resinas especiais e

aditivos que proporcionam espessuras controladas e propriedades de repelência à água e ausência de poeira.

Possui características como incombustibilidade (não propaga fogo), baixa condutividade térmica, alta resistência ao fogo ( temperatura máxima de 750°C), não tóxico (não emite fumaça). A Figura 20 apresenta a lã de rocha comercializada, geralmente são vendida em rolos e por metro quadrado.

Figura 20 - Placas de lã de rocha



Fonte: Pannoni, 2014, p.49.

A Tabela 11 apresenta a carta de cobertura resumida do material lã de rocha, quando o valor desejado não é apresentada na referida tabela, faz se necessário a interpolação.

Tabela 11 – Espessura (mm) da placa de lã de rocha, para  $\theta_{cr} = 550^{\circ}\text{C}$

| u/A ( $\text{m}^{-1}$ ) | TRRF (minutos) |    |    |     |
|-------------------------|----------------|----|----|-----|
|                         | 30             | 60 | 90 | 120 |
| 150                     | 25             | 25 | 38 | 63  |
| 200                     | 25             | 25 | 50 | 75  |
| 300                     | 25             | 38 | 63 | 88  |

Fonte: (Catalogo Rockfibras do Brasil, 2010)

### 8.2.3 Mantas cerâmicas

Segundo a Unifrax a manta de fibra cerâmica (Figura 21) é resistente, leve e flexível. É um produto que possui as seguintes características alto grau de pureza química, excelente resistência ao manuseio, baixa condutividade térmica, baixo armazenamento de calor, baixa densidade (64 a 192  $\text{Kg}/\text{m}^2$ ), resistência ao choque mecânico, alta reflexão de calor (1260°C). A manta cerâmica é fabricada a partir da sílica e alumina de alta pureza resultando em fibras

refratárias inorgânicas adensadas, como em seu processo as fibras são longas multidirecionais e entrelaçadas num processo contínuo de agulhamento, o que configura excelente resistência.

Figura 21 - Mantas cerâmicas



Fonte: Unifrax

A Tabela 11 apresenta a carta de cobertura resumida do material lã de rocha, quando o valor desejado não é apresentada na referida tabela, faz se necessário a interpolação.

Tabela 12 – Espessura (mm) da manta cerâmica, para  $\theta_{cr} = 550^{\circ}\text{C}$

| $u/A \text{ (m}^{-1}\text{)}$ | TRRF (minutos) |    |    |     |
|-------------------------------|----------------|----|----|-----|
|                               | 30             | 60 | 90 | 120 |
| 150                           | 12             | 19 | 38 | 50  |
| 200                           | 12             | 19 | 38 | 63  |
| 300                           | 12             | 19 | 38 | 75  |

Fonte: (Catalogo Fiberfrax® Tecnotermo, 2010)

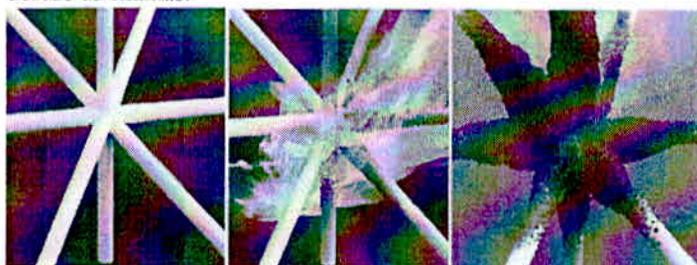
### 8.3 Tinta Intumescente

Segundo a fabricante Unifrax a Tinta intumescente é uma base solvente que é destinada para a proteção contra incêndio de estrutura metálica destinada a área internas e externas, podendo resistir ao fogo por até 120 minutos.

O revestimento intumescente é aplicado sobre o elemento estrutural, ressaltando que o elemento estrutural deve receber um tratamento, tal procedimento é constituído de aplicação de um Primer (aplicado para a aderência do revestimento intumescente à superfície estrutural, tempo de secagem será de 4 a 6 horas), depois do período de secagem a aplicação da tinta intumescente e no final a cor do acabamento fica a critério.

A dinâmica da tinta intumescente quando submetidas a temperaturas acima de 200°C, é a expansão volumétrica da mesma criando assim uma esponja, que não permite que os gases quentes atinjam o elemento estrutural, conforme a Figura 22 que demonstra a evolução do incêndio sobre o elemento estrutural.

Figura 22 – Tinta intumescente no processo de expansão volumétrica, devido às chamas.



Fonte: Panonni, 2010.p.61.

A Tabela 13 apresenta a carta de cobertura resumida da tinta intumescente, quando o valor desejado não é apresentada na referida tabela, faz se necessário a interpolação.

Tabela 13 – Espessura (mm) da película de tinta intumescente aplicada em pilares com seção transversal em forma de "I", com os quatro lados expostas ao fogo, em função de F e TRRF, para  $\theta_{cr} = 550^{\circ}\text{C}$

| F<br>( $m^{-1}$ ) | Nullifire/S605 |      |      |      | Nullifire/S607 |      |      |
|-------------------|----------------|------|------|------|----------------|------|------|
|                   | TRRF (min)     |      |      |      | TRRF (min)     |      |      |
|                   | 30             | 60   | 90   | 120  | 30             | 60   | 90   |
| 30                | 0,25           | 0,50 | 0,98 | 2,47 | 0,20           | 0,40 | 1,20 |
| 60                | 0,25           | 0,50 | 0,98 | 2,47 | 0,20           | 0,40 | 1,20 |
| 65                | 0,25           | 0,50 | 1,24 | 2,47 | 0,20           | 0,40 | 1,20 |
| 90                | 0,25           | 0,50 | 1,24 | 2,47 | 0,20           | 0,40 | 1,20 |
| 95                | 0,25           | 0,50 | 1,49 | 2,47 | 0,20           | 0,40 | 1,20 |
| 100               | 0,25           | 0,50 | 1,49 | 2,47 | 0,20           | 0,40 | 1,20 |
| 105               | 0,25           | 0,56 | 1,49 | 2,47 | 0,20           | 0,42 | 1,20 |
| 115               | 0,25           | 0,56 | 1,49 | 2,47 | 0,20           | 0,42 | 1,20 |
| 120               | 0,25           | 0,56 | 1,49 | 2,97 | 0,20           | 0,42 | 1,20 |
| 125               | 0,25           | 0,56 | 1,74 | 2,97 | 0,20           | 0,42 | 1,20 |
| 130               | 0,25           | 0,56 | 1,74 | 3,46 | 0,20           | 0,42 | 1,20 |
| 140               | 0,25           | 0,56 | 1,74 | 3,46 | 0,20           | 0,42 | 1,20 |
| 145               | 0,25           | 0,71 | 1,74 | 3,96 | 0,20           | 0,49 | 1,20 |
| 150               | 0,25           | 0,71 | 1,74 | 3,96 | 0,20           | 0,49 | 1,20 |
| 155               | 0,25           | 0,71 | 2,23 | 4,45 | 0,20           | 0,49 | 1,20 |
| 165               | 0,25           | 0,71 | 2,23 | 4,45 | 0,20           | 0,49 | -    |
| 170               | 0,25           | 0,71 | 2,23 | 4,95 | 0,20           | 0,49 | -    |
| 175               | 0,25           | 0,71 | 2,23 | 4,95 | 0,20           | 0,49 | -    |
| 180               | 0,25           | 0,71 | 2,23 | -    | 0,20           | 0,49 | -    |

Fonte: Nullifire (2015).

A seguir a Tabela 14 demonstra as vantagens e desvantagens do uso da Tinta intumescentes na proteção contra incêndio na estrutura de aço.

Tabela 14 – Vantagens e desvantagens no uso da Tinta intumescente

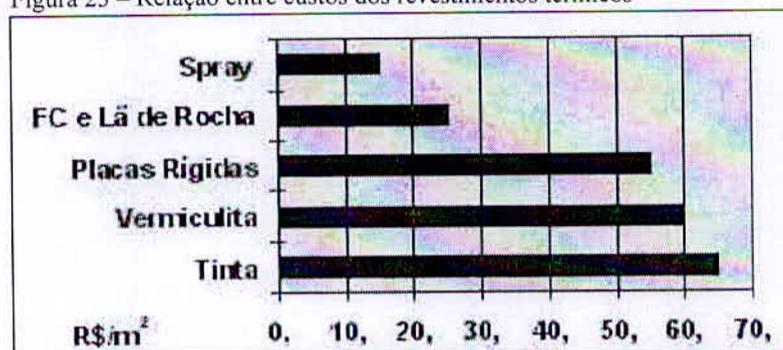
| Vantagens  | Desvantagens  |
|--|---|
| Melhor aspecto visual dentre todos os materiais  | Custo mais elevado que argamassa projetada                          |
| Suportar intemperismo e abuso mecânicos          | Maior tempo para a aplicação, já que são necessárias várias demãos. |
| Permite aos arquitetos expor os perfis metálicos | Em áreas externas, o acabamento requer manutenção periódica         |

Fonte: PCF Soluções (2015)

#### 8.4 Custos dos Revestimentos Térmicos

A utilização do revestimento térmico será de acordo com as condições desejadas, custo e aplicação. No caso de não haver a necessidade de bom acabamento em um ambiente como indústrias e depósitos são aconselháveis à utilização os materiais projetados, mas quando há a necessidade de boa aparência pode utilizar a tinta intumescente ou painel de gesso acartonado – RF, todavia, dependerá do cliente, pois, quanto maior o acabamento do revestimento maior será o custo do mesmo. Conforme a Figura 23 a relação entre os diferentes revestimentos diferencia sobre o custo, devido as várias formas de acabamento final.

Figura 23 – Relação entre custos dos revestimentos térmicos

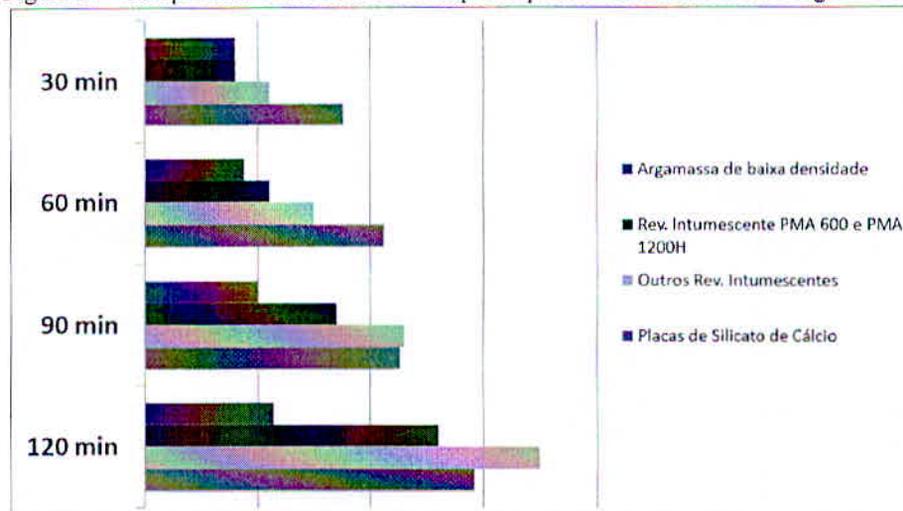


Fonte: Andrade, 2010, p.81.

Segundo a PCF Soluções (2015), Conforme a Figura 24 o valor unitário da proteção varia conforme o Tempo Requerido de Resistência ao Fogo – TRRF, a massividade dos perfis

e as quantidades a serem aplicadas, mas argamassas projetadas de baixa densidade são os produtos mais baratos que existem para a proteção passiva contra fogo em estrutura de aço.

Figura 24 - Comparativo entre custo e o Tempo Requerido de Resistencia ao Fogo – TRRF



Fonte: CKC (2015).

Concluimos que a partir do gráfico apresentado (Figura 24), quanto maior o requinte estético e a resistência mecânica do material de proteção, como no caso das placas rígidas e semirrígidas e tintas intumescentes, maior seu custo para a obra. Ao contrário dos materiais projetados são mais rústicos e com resistência mecânica inferior e por consequência de seu baixo custo são os mais utilizados atualmente como revestimento térmico para estruturas de aço em situação de incêndio.

## CONCLUSÃO

Neste trabalho foram abordados conceitos relativos à proteção contra incêndio nos elementos estruturais e suas respectivas interações com o projeto de estrutura de aço. Assim como as propriedades mecânicas e térmicas que tem suas variações em função da elevação da temperatura, de acordo com a NBR 14323.

Diversos materiais de proteção térmica disponíveis no mercado foram apresentados, que conseqüentemente podem alterar o projeto, ou seja, tendo grande influência sobre o projeto final, tanto no dimensionamento quanto no custo.

Uma análise comparativa entre os custos dos revestimentos térmicos, foi observado que a tinta intumescente é o material de proteção térmica mais elevado devido a seu excelente acabamento, por sua vez os materiais projetados apresentaram custo mais baixo. Justificando assim a adoção dos materiais projetados como revestimento térmico mais utilizado nos projetos estruturais, mesmo tendo aspecto rústico.

Para fins de aumento do conhecimento e pesquisas acadêmicas sobre estrutura de aço em situação de incêndio, trabalhos futuros poderiam ser desenvolvidos a partir dos tópicos enumerados abaixo:

- I. Utilização da madeira com revestimento térmico, considerando seu poder isolante;
- II. Análise do comportamento dos elementos estruturais frente ao fogo;
- III. Comportamento das ligações frente ao fogo.

## REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14323. Dimensionamento de estruturas de aço de edifícios em situação de incêndio. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14432. Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificação. Rio de Janeiro, 2000.

AMERICAN SOCIETY AND MATERIALS (ASTM E – 119-00) - Standar test methods for fire testes of building constriutions and material. West Conshohocken (USA). 2000.

ANDRADE, Cleide Cedini. **Proteção Térmica em Estrutura de Aço**. Florianópolis, 2010. 194 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Design of composite steel. Structures fire design (part1.2). Eurocode 3 – ENV 1993-1-2.

INTERNATIONAL STANDARDIZATION FOR ORGANIZATION – Fire-resistence test – Elements of building construction. ISO 834/1994. Genève.1994.

MENDES, Cristiane Lopes; MUNAIAR NETO, J. MALITE, Maximiliano. **Revestimento térmico em perfis e aço formados a frio no contexto projeto estrutural em situação de incêndio**. Revista Minerva. São Carlo - SP, v.3, n. 1, p. 68-91, 2006.

MINAS GERAIS, Corpo de Bombeiros Militar Minas Gerais (CBMMG). **Segurança estrutural nas edificações**. Instrução técnica do Corpo de bombeiros. IT 06. 2005

PANONNI, Fábio Domingos. **Coletânea do uso do Aço**. Princípios da Proteção Estruturas Metálicas em situação de incêndio. 4.ed. São Paulo 2010.

PANONNI, Fábio Domingos. **Proteção de Estruturas Metálicas Frente ao Fogo**. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2014. (Série Manual de Construção em Aço).

SILVA, Valdir Pignatta e, **Estrutura de aço em situação de incêndio**. São Paulo: Zigurate, 2004.

SILVA, Valdir Pignatta e; VARGAS, Mauri Resende; ONO, Rosária. **Prevenção contra incêndios no Projeto de Arquitetura**. Rio de Janeiro. 2010

VARGAS, Mauri Resende; SILVA, Valdir Pignatta e. **Resistência ao fogo das estrutura de aço**. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2003. (Série Manual de Construção em Aço).

SEITO, Alexandre Itui, et al. **A Segurança Contra incêndio no Brasil**. São Paulo. 2008. p. 496.

SILVEIRA, Antonio Manoel da. **Prevenção e combate a incêndios**. 2.ed. Itajaí: Edeme, 1988. p. 266

GUSMÕES, Edson Zofrea; SILVA, Valdir Pignatta e; NETO, Jorge Munair. **Sobre a temperatura de perfis de aço sem revestimento contra fogo em situação de incêndio**. Rio de Janeiro. P. 133-146. Revista da estrutura de aço CBCA. 2012.

WILCOX, W. Waine, et al. **Wood as a building material: a guide for designer and builders**. 1991.

Arquivo digital

<http://www.engterm.com.br/teste/html/manta.htm>, acessado em 19 de outubro de 2015 às 00:10.

<http://www.unifrax.com.br/mantas-de-fibra-cer%C3%A2mica.asp>, acessado em 15 de outubro de 2015 às 10:00.

<http://www.unifrax.com.br/produtos-revestimento.asp>, acessado em 16 de outubro de 2015 às 13:10.

[http://www.refrasol.com.br/?page\\_id=291](http://www.refrasol.com.br/?page_id=291), acessado em 16 de outubro de 2015 às 13:16.

[http://www.refrasol.com.br/?page\\_id=302](http://www.refrasol.com.br/?page_id=302), acessado em 15 de outubro de 2015 às 20:00.

<http://www.unifrax.com.br/fibra-projetada.asp>, acessado em 15 de outubro de 2015 às 10:00.

[http://www.rockfibras.com.br/produtos\\_la\\_de\\_rocha.html](http://www.rockfibras.com.br/produtos_la_de_rocha.html), acessado em 19 de outubro de 2015 às 10:10.

<http://www.brasgips.com.br/#!gessoacartonado/c188w>, acessado em 19 de outubro de 2015 às 21:00.

[http://www.pcf.com.br/PCF\\_Solucoes/Argamassas\\_CCivil.html](http://www.pcf.com.br/PCF_Solucoes/Argamassas_CCivil.html), acessado em 19 de outubro de 2015 às 17:00

<http://www.ckc.com.br/solucoes/estruturas-e-escadas-metalicas.html>, acessado em 19 de outubro de 2015 às 21:00.

<http://www.cbca-acobrasil.org.br/site/publicacoes-estrutura-de-aco.php>, acessando em 20 de outubro de 2015