

**ÉDERSON FREITAS SOARES
MATRÍCULA: 21127724**

**ASPECTOS GERAIS DOS SISTEMAS DE PROTEÇÃO
CONTRA INCÊNDIO EM ESTRUTURAS METÁLICAS**

Brasília
2014

ÉDERSON FREITAS SOARES

**ASPECTOS GERAIS DOS SISTEMAS DE PROTEÇÃO
CONTRA INCÊNDIO EM ESTRUTURAS METÁLICAS**

Trabalho de Curso (TC) apresentado
como um dos requisitos para a conclusão
do curso de Engenharia Civil do UniCEUB
- Centro Universitário de Brasília

Orientador: Eng.^o Civil Wiliam Oliveira
Bessa, D.Sc.

**Brasília
2014**

ÉDERSON FREITAS SOARES

**ASPECTOS GERAIS DOS SISTEMAS DE PROTEÇÃO
CONTRA INCÊNDIO EM ESTRUTURAS METÁLICAS**

Trabalho de Curso (TC) apresentado
como um dos requisitos para a
conclusão do curso de Engenharia
Civil do UniCEUB - Centro
Universitário de Brasília

Orientador: Eng.^o Civil Wiliam
Oliveira Bessa, D.Sc.

Brasília, 18 de Junho de 2014.

Banca Examinadora

Eng.^o Civil: Wiliam Oliveira Bessa, D.Sc.
Orientador

Eng.^o Civil: Henrique Faria de Paula, M.Sc.
Examinador Interno

Eng.^o Civil: João da Costa Pantoja, D.Sc.
Examinador Interno

Agradecimentos

A Deus, sempre em primeiro lugar;

ao Prof. Wiliam Bessa, que orientou este trabalho;

à minha família, que sempre me incentivou e apoiou;

a Renato Bernardes vendedor da empresa Unifrax por ter fornecido o orçamento dos revestimentos de proteção contra incêndio.

Aos colegas que de alguma forma me ajudaram.

RESUMO

O rápido crescimento das cidades exige soluções verticais em projetos edifícios, e nos elementos estruturais em aço, a segurança e resistência contra incêndios também é um dos quesitos que devem ser seguidos. O emprego de materiais modernos na construção civil é uma tendência que tem permitido melhorar a tecnologia das edificações, dentre os quais incluem os materiais que permitem aumentar a resistência às altas temperaturas. Dentre estes materiais, os que podem ser pulverizados são os mais econômicos encontrados no mercado. O objetivo deste trabalho é apresentar os principais materiais e processos disponíveis para a proteção passiva contra incêndio em edifícios em elementos estruturais de aço. Também foi desenvolvida uma pesquisa com o levantamento estimativo dos custos relativos aos principais tipos de proteção contra incêndio disponíveis no mercado.

Palavras chaves: incêndio, revestimento contra fogo, estruturas metálicas, resistência ao fogo.

ABSTRACT

The fast growth of the cities requires vertical solutions in buildings projects and in the structural steel elements, security and resistance against fire is also one of the requirements that must be respected. The use of modern materials in building is a trend which has allowed improving the technology of the buildings, among which include materials that help to increase the resistance to high temperatures. Among the materials, those that can be sprayed are the cheapest available in the market. The objective of this work is to present the main processes and materials available for passive protection against fire in buildings in structural steel elements. A research was also developed with the estimated costs for the main types of fire protection available on the market.

Key words: fire, fire protective, metal structures, fireproofing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Redução da resistência ao escoamento do aço e da resistência à compressão do concreto em função da temperatura.....	16
Figura 2 – Redução do módulo de elasticidade do aço e do concreto em função da temperatura.....	16
Figura 3 – Curva tempo-temperatura de um incêndio.....	19
Figura 4 – Método do tempo equivalente.....	21
Figura 5 – Curva Temperatura x Tempo de um incêndio-Natural.....	27
Figura 6 – Mostra que um mesmo perfil pode ter diferentes fatores de formas.....	31
Figura 7 – Como calcular a espessura do revestimento.....	32
Figura 8 – Como funciona a proteção térmica.....	34
Figura 9 – Aplicação de argamassa projetada em pilar.....	37
Figura 10 – Argamassa projetada, alisada (a) e pintada (b).....	37
Figura 11 – Argamassa projetada em vigas de aço.....	38
Figura 12 – Aplicação de argamassa Monokote MK-6.....	38
Figura 13 – Aplicação de Argamassa BlazeShield II.....	39
Figura 14 – Estrutura revestida por fibras projetadas.....	42
Figura 15 – Aplicação de fibras projetadas.....	43
Figura 16 – Aspecto da vermiculita na forma de grãos.....	45
Figura 17 – Argamassa projetada à base de vermiculita.....	46
Figura 18 – Estrutura protegida com placas rígidas de painéis autoclavados.....	47
Figura 19 – Detalhe do revestimento com placas rígidas com 25 mm de espessura utilizada para proteger as vigas do edifício Palácio do Comércio – SP.....	47
Figura 20 – Montagem das placas de gesso acartonado.....	49
Figura 21 – Placas de Lã de rocha.....	49
Figura 22 – Exemplo de placa de lã de rocha.....	50
Figura 23 – Manta composta por: (a) lã de vidro, (b) fibra de cerâmica e (c) lã de rocha.....	52

Figura 24 – Centro empresarial do aço protegido por manta de fibra cerâmica, São Paulo – S.P.....	52
Figura 25 – Aplicação de tinta intumescente.....	55
Figura 26 – Edifício Itaú Cultural na Avenida Paulista – SP.....	55
Figura 27 – Sequencia para aplicação da tinta na estrutura.....	57
Figura 28 – Detalhes da sequencia de eventos para o intumescimento da tinta na estrutura.....	57
Figura 29 – Tinta intumescente após incêndio.....	58
Figura 30 – Exemplo de tinta intumescente durante e após incêndio.....	58
Figura 31 – Gráfico comparativo de preços entre as proteções térmicas.....	60
Figura 32 – Fachada frontal da edificação.....	61
Figura 33 – Fachada posterior da edificação.....	61
Figura 34 – Corte longitudinal da edificação.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fatores de redução, para o aço e o concreto, de acordo com a NBR 14323/2013.....	18
Tabela 2 – TRRF em função das características das edificações.....	22
Tabela 3 – Edificações isentas de verificação de resistência ao fogo.....	23
Tabela 4 – Fator de massividade para os Perfis Gerdau Açominas.....	33
Tabela 5 – Propriedades típicas dos materiais isolantes.....	35
Tabela 6 – Vantagens e desvantagens das argamassas projetadas.....	36
Tabela 7 – Espessura da argamassa MonokoteMK6 (mm), em função de F e do TRRF, para $\Theta_{cr}= 650^{\circ}\text{C}$	40
Tabela 8 – Espessura da argamassa Monokote MK6 (mm), em função de F e do TRRF, para $\Theta_{cr}= 550^{\circ}\text{C}$	41
Tabela 9 – Espessura de argamassa composta por fibras projetadas, BlazeShield II, em mm, em função de F e do TRRF, para $\Theta_{cr}= 550^{\circ}\text{C}$	43
Tabela 10 – Vantagens e Desvantagens das placas rígidas.....	48
Tabela 11 – Espessura do painel (mm), em função de F e do TRRF, para $\Theta_{cr}= 550^{\circ}\text{C}$	50
Tabela 12 – Vantagens e Desvantagens das mantas cerâmicas.....	51
Tabela 13 – Espessura, em mm, da tinta aplicada em função do fator de massividade F e do TRRF, para $\Theta_{cr} = 550^{\circ}\text{C}$	56
Tabela 14 – Vantagens e Desvantagens das tintas intumescentes.....	56
Tabela 15 – Produtos x Fabricantes das tintas intumescentes.....	59
Tabela 16 – Dados dos perfis metálicos utilizados.....	62
Tabela 17 – Especificação dos produtos utilizados.....	62
Tabela 18 – Custo da aplicação da proteção contra incêndio.....	63
Tabela 19 – Comparativo de preços TINTA X ARGAMASSA PROJETADA.....	63
Tabela 20 – Comparação dos resultados.....	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT.....	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR.....	Norma Brasileira Registrada
NB.....	Norma Brasileira
TRRF.....	Tempo Requerido de Resistência ao Fogo
IPT.....	Instituto de Pesquisas Tecnológicas

LISTA DE SÍMBOLOS

- Θ_rTemperatura crítica do aço
- $k_{y,\theta}$Fator de redução da resistência ao escoamento do aço
- $k_{c,\theta}$Fator de redução para a resistência característica à compressão do concreto
- $k_{E,\theta}$Fator de redução para o módulo de elasticidade do aço
- $k_{cn,\theta}$Fator de redução para a resistência característica à compressão do concreto com densidade normal
- $k_{Ecn,\theta}$Módulo de elasticidade do concreto de densidade normal.

SUMÁRIO

RESUMO.....	5
1 INTRODUÇÃO.....	13
2 OBJETIVOS.....	14
3 ESTRUTURAS METÁLICAS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO.....	15
3.1 DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA DO AÇO – TRRF.....	19
3.2 PRINCIPAIS TRABALHOS.....	24
4 NORMAS BRASILEIRAS PARA EDIFICAÇÕES EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO.....	26
5 MATERIAIS DE REVESTIMENTO TÉRMICO CONTRA INCÊNDIO.....	29
5.1 Classificação dos revestimentos térmicos.....	29
5.2 Espessuras do material de revestimento.....	30
5.2.1 Fator de massividade ou fator de forma.....	30
5.3. Tipos de materiais utilizados para revestimento térmico contra incêndio.....	33
5.3.1 Materiais projetados.....	34
5.3.2 Argamassas Projetadas.....	35
5.3.3 Argamassas Cimentícias.....	39
5.3.4 Fibras projetadas.....	42
5.3.5 Argamassa projetada à base de vermiculita.....	44
5.3.6 Placas Rígidas.....	46
5.3.7 Tintas Intumescentes.....	53
6 PESQUISA DE MERCADO.....	60
7 CONCLUSÕES.....	65
REFERÊNCIAS.....	66

ANEXO A – Fator de Massividade para alguns elementos estruturais com revestimento contra fogo (extraída da NBR 14323)

ANEXO B – Tempos Requeridos de Resistência ao fogo (TRRF), em minutos.

1 INTRODUÇÃO

Um sistema de segurança contra incêndio consiste em um conjunto de meios ativos (chuveiros automáticos, mais conhecidos como sprinklers, brigada contra incêndio, detecção de calor ou fumaça etc.) e passivos (resistência ao fogo das estruturas, compartimentação, saídas de emergência etc.).

A seleção do sistema adequado de segurança contra incêndio deve ser feita tendo por base os riscos de um incêndio, de sua propagação e de suas consequências. Não basta identificar o possível dano à propriedade devido ao fogo, mas, por razões econômicas, é necessário também identificar a extensão do dano.

Primeiramente utilizava-se concreto como material de revestimento sem função estrutural, apesar de o concreto apresentar baixa condutividade térmica em relação ao aço.

A principal vantagem na utilização do concreto como material de proteção passiva diz respeito à durabilidade, como desvantagens podemos citar o custo, tempo de aplicação, o peso final da estrutura e a redução do interno da edificação.

Os objetivos do projeto de segurança contra incêndio é:

- proteção das vidas dos ocupantes dos edifícios;
- proteção dos bens existentes e atividades neles desenvolvidas;
- proteção contra danos de incêndios que possam se deflagrar neles ou em edifícios vizinhos.

É de grande importância a compatibilização, do ponto de vista econômico, entre o custo da segurança para proteção ao fogo e o custo do empreendimento.

Neste trabalho serão apresentadas algumas formas de proteção passiva de contra incêndio para as estruturas metálicas. A pesquisa limitou-se às proteções térmicas dos elementos estruturais em aço e à sua influência nos projetos de edificações.

2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivos apresentar e desenvolver uma análise crítica dos diversos tipos de proteção térmica, voltados para aplicação em elementos estruturais de aço em situação de incêndio. É apresentada uma revisão bibliográfica com a conceituação e análise dos quesitos de segurança contra incêndios, os principais trabalhos relativos ao tema e as respectivas normas brasileiras.

Em seguida, são caracterizados os principais materiais de revestimento térmico contra incêndio, suas características e processos executivos, utilização e desempenho.

Por fim, foi desenvolvida uma pesquisa de mercado com levantamento estimativo dos custos relativos aos principais tipos de proteção passiva contra incêndio utilizada atualmente.

3 ESTRUTURAS METÁLICAS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

O aço, assim como outros materiais estruturais, quando submetido a altas temperaturas têm resistência e rigidez reduzidas. De uma forma genérica, os elementos estruturais em aço perdem cerca de 50% de sua resistência mecânica quando aquecidos a uma temperatura superior a 550°C, iniciando o processo de perda de instabilidade local ou global. Como a maioria dos incêndios chega a essa temperatura rapidamente, torna-se necessário proteger o metal da fonte de calor.

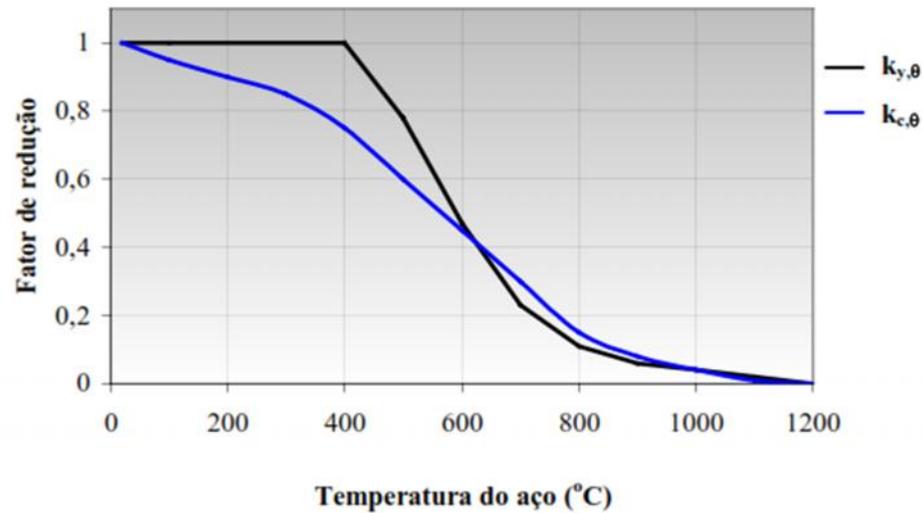
Hoje, depois de muitos estudos, sabe-se que os materiais estruturais devem ser projetados levando-se em conta a redução da resistência a altas temperaturas (SILVA & VARGAS, 2010).

Segundo (SILVA, 2003) a temperatura que causa o colapso de um elemento estrutural, em situação de incêndio, é chamada de temperatura crítica.

A influência da temperatura na resistência e no módulo de elasticidade do aço e do concreto pode ser observada nas figuras 1 e 2:

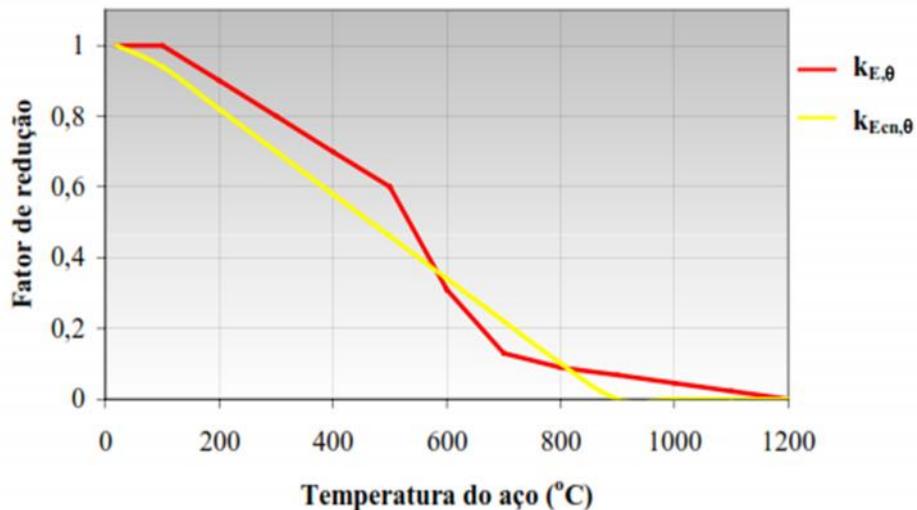
- $k_{y,\theta}$ - fator de redução da resistência ao escoamento do aço;
- $k_{c,\theta}$ - fator de redução para a resistência característica à compressão do concreto;
- $k_{E,\theta}$ - fator de redução para o módulo de elasticidade do aço;
- $k_{cn,\theta}$ - fator de redução para a resistência característica à compressão do concreto com densidade normal;
- $k_{Ecn,\theta}$ - módulo de elasticidade do concreto de densidade normal.

Figura 1 – Redução da resistência ao escoamento do aço e da resistência à compressão do concreto em função da temperatura.



Fonte: Mendes (2004).

Figura 2 – Redução do módulo de elasticidade do aço e do concreto em função da temperatura.



Fonte: Mendes (2004).

As primeiras exigências de proteção contra incêndio surgiram em meados de 1666, em Londres por causa de um grande incêndio. Entretanto, este tema começou ser explorado por volta do século 19 e início do século 20 com a observação de temperaturas diferentes para cada tipo de incêndio.

Por volta de 1952, as regulamentações passaram a ter foco global nas estruturas, proporcionando maior liberdade para os projetos. No Brasil, segundo Mendes (2004), até 1970 todos os regulamentos do Corpo de Bombeiros e Código de Obras Civis foram adaptados de seguradoras americanas, dando origem às exigências para instalações de segurança não muito rigorosas.

No Brasil, somente, após os incêndios ocorridos nos edifícios da Caixa Econômica Federal no Rio (1974) e Joelma (1974), criou-se, em 1979, o Laboratório de Ensaio ao Fogo, no Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT).

Após estes incêndios a comunidade científica foi alertada que precisava aprofundar-se na área de segurança contra incêndio. Desde então, o IPT tem-se mantido atuante na área, ampliando sua capacitação técnico-laboratorial, gerando produção técnica e contribuindo para a formação de pesquisadores (ANDRADE, 2010).

Em 1999, foi aprovada e publicada, a norma brasileira NBR 14323:1999 – **Dimensionamento de estruturas de aço de edifícios em situação de incêndio** - que fornece diretrizes para a determinação da ação térmica nos elementos construtivos das edificações, bem como para o dimensionamento dos diversos elementos que constituem a edificação. Esta norma foi revisada e divulgada em agosto de 2013.

Em 2000, surgiu a necessidade de um documento normativo que permitisse estabelecer um intervalo de tempo em que um sistema estrutural, mesmo em situação de incêndio, garantisse capacidade portante com vistas, principalmente, a preservação de vidas humanas. Nesse ano, foi publicada a NBR 14432:2000 – **Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos das edificações**, a qual define a necessidade da verificação ou não em situação de incêndio para uma dada edificação, bem como estabelece o tempo mínimo de resistência ao fogo de elementos construtivos sujeitos ao incêndio-padrão.

O intervalo de tempo é denominado Tempo Requerido de Resistência ao Fogo – T.R.R.F. e é utilizado na equação que estabelece a elevação da temperatura dos gases em função do tempo, prescrito na NBR 14323:2013.

Em países que adotam procedimentos rigorosos na questão da prevenção, têm diminuído muito as perdas com incêndio. É importante que na escola este assunto seja tratado, pois a educação é considerada a peça chave para a prevenção e proteção contra incêndios.

No Brasil, os cursos de arquitetura e engenharia em razão do conteúdo extenso e apertado, não contemplam a parte de proteção contra incêndio em sua grade curricular (ANDRADE, 2010). Por causa disso, constata-se que os arquitetos e engenheiros têm dado pouca ênfase nos sistemas de proteção contra incêndios nas edificações apesar de a cada dia as exigências estarem cada vez maiores nesta área.

Tabela 1– Fatores de redução, para o aço e o concreto, de acordo com a NBR 14323/2013.

Temperatura Θ (C°)	Fatores de redução para o aço		Fatores de redução para o concreto	
	$k_{y,e}$	$k_{E,e}$	$k_{cn,e}$	$k_{Ecn,e}$
20	1,000	1,000	1,000	1,000
100	1,000	1,000	0,950	0,940
200	1,000	0,9000	0,900	0,820
300	1,000	0,8000	0,850	0,700
400	1,000	0,7000	0,750	0,580
500	0,78	0,6000	0,600	0,460
600	0,47	0,3100	0,450	0,340
700	0,23	0,1300	0,300	0,220
800	0,11	0,0900	0,150	0,100
900	0,060	0,0675	0,080	0,000
1000	0,040	0,045	0,040	0,000
1100	0,020	0,0225	0,010	0,000
1200	0,000	0,000	0,000	0,000

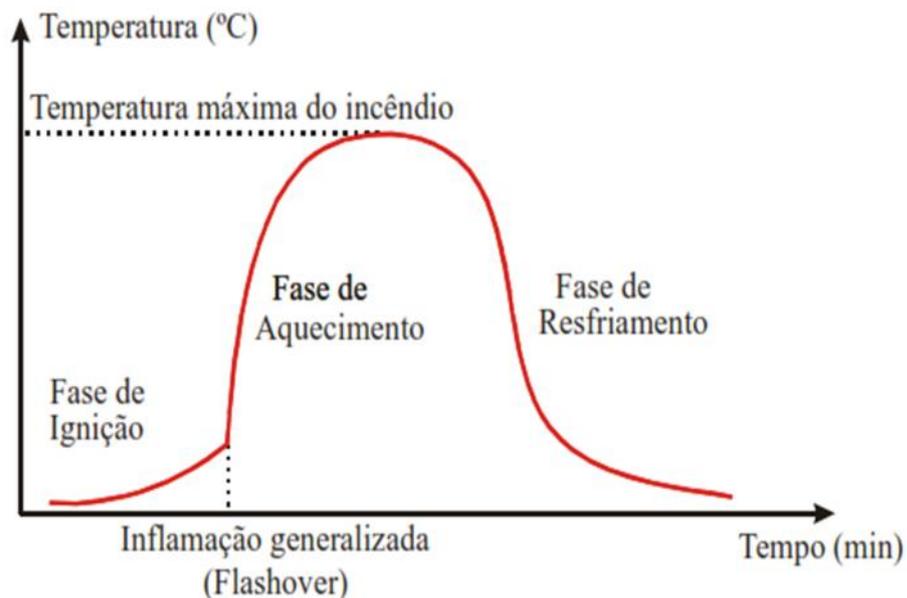
Fonte: Mendes (2004).

3.1 DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA DO AÇO - TRRF

Segundo Andrade (2003), a principal característica de um incêndio, no que concerne ao estudo das estruturas, é a curva que fornece a temperatura dos gases em função do tempo de incêndio (Figura 3). Podendo assim obter a máxima temperatura atingida pelos gases quentes. A partir dessa curva, é possível calcular a ação térmica.

Ação térmica é o fluxo de calor entre as chamas e as estruturas, inicialmente frias. Essa ação térmica acarreta aumento de temperatura nos elementos estruturais, causando-lhes redução de capacidade resistente e aparecimento de esforços adicionais em razão das deformações térmicas. Pode-se modelar o incêndio por meio de uma curva tempo-temperatura. Na figura 3 é apresentado o gráfico da curva tempo-temperatura (GUIMARÃES, 2007).

Figura 3 – Curva tempo-temperatura de um incêndio.



Como mostrado na figura 3, o incêndio possui três etapas básicas:

- a) fase de ignição: nessa etapa, há um aumento gradual na temperatura, pelo que se diz que o incêndio não é de grandes proporções. Se a edificação

dispuser de medidas de proteção ativa eficientes de forma a cessar o incêndio, não há necessidade de verificação adicional da estrutura;

- b) fase de aquecimento: essa é a etapa onde há um brusco aumento da temperatura, e o incêndio começa a ser preocupante para a vida humana e para a preservação do patrimônio. Essa fase, onde se inicia a inflamação generalizada, também conhecida como *flashover*, ocorre quando toda a carga de combustível entra em ignição (SILVA & VARGAS, 2010);
- c) fase de resfriamento: a partir do instante em que toda a carga de combustível é consumida pela combustão, os gases quentes passam por uma gradativa queda de temperatura. Segundo Guimarães (2007), o período de resfriamento é identificado como o estágio do incêndio onde a queda da temperatura média é de 80% do seu valor de pico (SILVA, 2001).

O TRRF – tempo requerido de resistência ao fogo, pode ser entendido como o tempo mínimo (medido em minutos) em que os elementos construtivos devem resistir a uma ação térmica quando sujeito ao incêndio-padrão. Por tratar-se de uma curva padronizada, e não de uma curva temperatura-tempo de um incêndio real, esse tempo é utilizado apenas para fins de verificação de projeto ou de dimensionamento do material de revestimento contra fogo (SILVA & PANNONI, 2010).

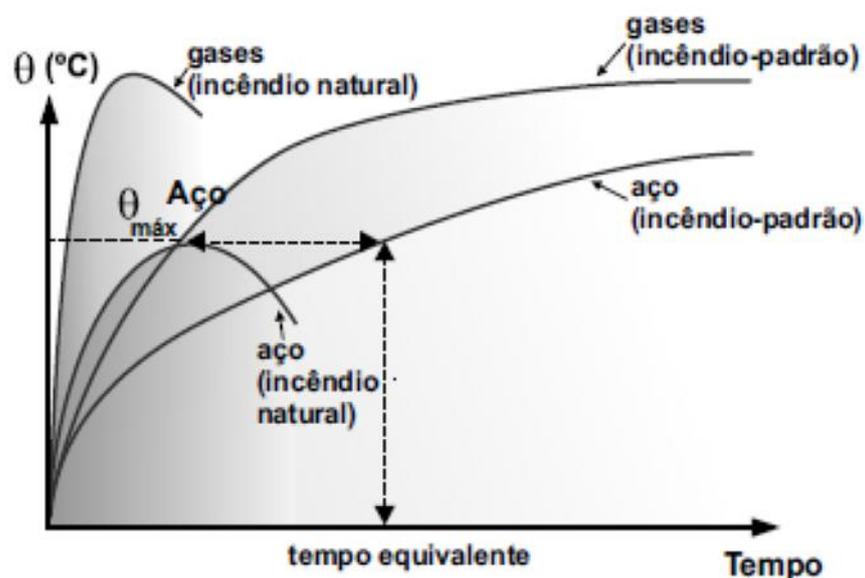
As normas exigem segurança à temperatura por um determinado tempo, TRRF, associado à curva padrão de elevação de temperatura. O valor TRRF é função do risco de incêndio e de suas consequências. Esse valor é avaliado subjetivamente pela sociedade e normatizado.

É possível determinar o TRRF por dois métodos: pelo método tabular e pelo método do tempo equivalente. Pelo método equivalente é definido analiticamente o

TRRF em função das características geométricas, uso e dispositivos de segurança contra incêndio da edificação (SILVA & PANNONI, 2010).

Segundo Andrade (2010), o método do tempo equivalente consiste em relacionar a máxima temperatura do aço, no incêndio natural, ao tempo associado a essa mesma temperatura na curva do incêndio-padrão. Na figura 4 é apresentado um gráfico que apresenta o método do tempo equivalente.

Figura 4–Método do tempo equivalente.



Fonte: Andrade (2010).

Nesse método do tempo equivalente pode ser visto na figura que a curva temperatura-tempo do incêndio padrão tem crescimento contínuo. No entanto, no incêndio real, a temperatura dos gases e do aço atinge um valor máximo caindo, após, gradativamente (ANDRADE, 2010).

Através do tempo equivalente, previamente calculado, é determinada, a curva do incêndio padrão, a temperatura do aço que corresponderá à sua máxima temperatura no incêndio real. Uma vez calculada essa temperatura, pode ser dimensionada a estrutura em situação de incêndio. O T.R.R.F. não se trata do tempo real de duração do incêndio ou de desocupação do edifício ou tempo de chegada do socorro.

O tempo equivalente é função da carga de incêndio, das características térmicas dos elementos de vedação, da ventilação horizontal e vertical e do pé direito do compartimento (SILVA, 2003).

Por meio do método tabular, o TRRF poderia ser calculado empregando-se formulações e conceitos científicos rigorosos, mas seria extremamente trabalhoso e variaria de edificação para edificação. Por simplicidade de projeto, esse valor é definido por meio de consenso da sociedade em função do uso da edificação e de suas dimensões baseadas em normas.

A tabela 2 apresenta o TRRF pelo método tabular em função das características das edificações.

Tabela 2– TRRF em função das características das edificações.

TRRF de algumas edificações					
Ocupação/Us	Altura da edificação				
	h ≤ 6 m	6 m < h ≤ 12 m	12 m < h ≤ 23 m	23 m < h ≤ 30 m	h ≤ 30 m
Residência	30	30	60	90	120
Hotel	30	60	60	90	120
Supermercado	60	60	60	90	120
Escritório	30	60	60	90	120
Shopping	60	60	60	90	120
Escola	30	30	60	90	120
Hospital	30	60	60	90	120

Fonte: NBR14432/2001.

Na tabela 3 abaixo serão apresentadas as edificações isentas de verificação de resistência ao fogo.

Tabela 3– Edificações isentas de verificação de resistência ao fogo.

Área	Uso	Carga de incêndio específica	Altura	Melos de proteção
≤ 750 m ²	Qualquer	Qualquer	Qualquer	
≤1500 m ²	Qualquer	≤ 1000MJ/m ²	≤ 2 pav.	
Qualquer	Centros esportivos Terminais de pass.	Qualquer	≤ 23 m	
Qualquer	Garagens abertas	Qualquer	≤ 30 m	
Qualquer	Depósitos	Baixa	≤ 30 m	
Qualquer	Qualquer	≤ 500MJ/m ²	Térrea	
Qualquer	Industrial	≤ 1200MJ/m ²	Térrea	
Qualquer	Depósitos	≤ 2000MJ/m ²	Térrea	
Qualquer	Qualquer	Qualquer	Térrea	Chuveiros automáticos
≤ 5000 m ²	Qualquer	Qualquer	Térrea	Fachadas de aproximação

Fonte: Silva (2003).

Para a aplicação das isenções, devem ser observadas as exigências de medida de proteção ativa e passiva, constantes das normas brasileiras em vigor e de regulamentos de órgãos públicos.

As isenções não se aplicam a edificações cujos ocupantes tenham restrição de mobilidade, como no caso de hospitais, asilos e penitenciárias. Em ginásios esportivos, estádios, estações rodoferroviárias e aeroportos, as isenções não se aplicam às áreas que tenham ocupações diferentes das áreas de transbordo tais como lojas, restaurantes, depósitos etc (SILVA, 2003).

As edificações que não se enquadram na isenção devem utilizar um revestimento térmico adequado.

3.2 PRINCIPAIS TRABALHOS

Os principais trabalhos relativos à proteção contra incêndio em elementos estruturais, utilizados neste trabalho, estão indicados abaixo:

Trabalho	Objetivos	Resultados
ANDRADE, (2010)	Analisar os processos e materiais para proteção térmica de edificações com estruturas metálicas de aço e o seu grau de influência nos projetos de arquitetura.	Foi verificado como são diversificados os materiais de proteção térmica e suas propriedades.
MENDES, (2004)	Estudo de perfis formados a frio em situação de incêndio, o comportamento do aço estrutural em situação de incêndio. Obter informações com relação aos tipos de materiais para revestimento térmico e suas aplicações, a possibilidade de usar ou não o revestimento térmico em perfis formados a frio. Determinar a melhor solução para proteção térmica de perfis formados a frio.	Foi obtido que a melhor forma de proteção para perfis formados a frio é a tipo caixa. Pode-se optar por placas de gesso acartonado, lã de rocha ou painéis de silicato autoclavados.
ALVA, (2000)	Dimensionamento e os aspectos construtivos mais relevantes dos elementos que compõem o sistema estrutural misto, e também o dimensionamento em situação de	Dificuldade de se estabelecer a curva tempo-temperatura de uma situação real de incêndio. Foi adotado as curvas padronizadas, denominadas de

	incêndio.	curvas de incêndio padrão.
GUIMARÃES, (2007)	<p>Apresenta alguns métodos de dimensionamento de materiais de revestimento contra fogo de estruturas de aço em situação de incêndio.</p> <p>Os métodos apresentados para dimensionamento da espessura do material de revestimento são: o método analítico, o método numérico e o método experimental.</p>	<p>Dentre esses três, o que apresentou resultado mais favorável se aplicado a situações reais, que se assemelham as condições de ensaio, é o método experimental.</p>

4 NORMAS BRASILEIRAS PARA EDIFICAÇÕES EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

As normas brasileiras que tratam do assunto referido neste trabalho são:

- NBR 14323/2013 – **Dimensionamento de estruturas de aço de edifícios em situação de incêndio.**
- NBR 14432/2001 – **Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações.**

A NBR 14323/2013 tem como finalidade fornecer diretrizes para a determinação da ação térmica nos elementos construtivos das edificações e para o dimensionamento dos diversos elementos que constituem a edificação em situação de incêndio, em função da elevação da temperatura do aço.

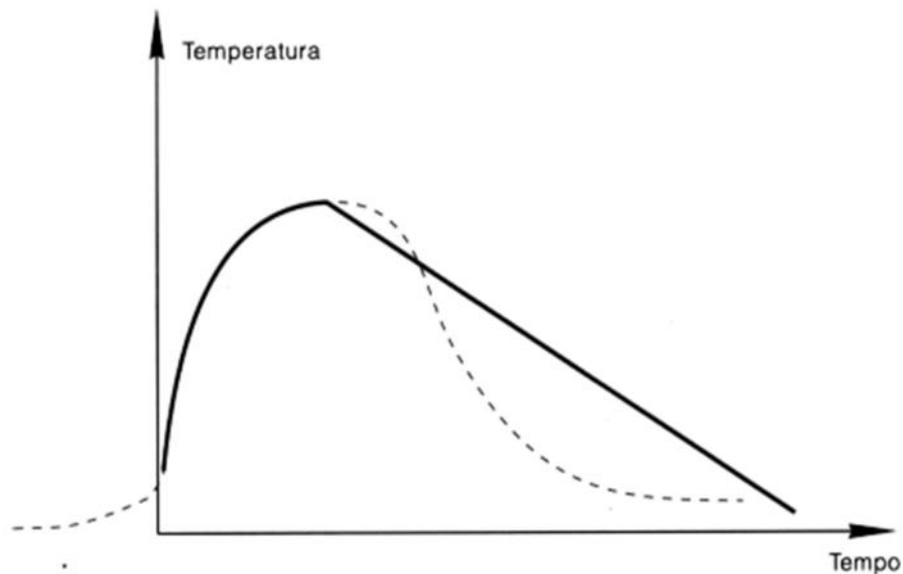
Esta Norma prescreve equações para o dimensionamento com base em um método simplificado, bem como uma curva que descreve a variação da temperatura dos gases ao longo do tempo, denominada Incêndio-Padrão.

De acordo com a NBR 14323/2013, uma estrutura considerada segura na condição excepcional de um incêndio é aquela que, com ou sem proteção contra incêndio, tem grande probabilidade de resistir aos esforços solicitantes em temperatura elevada, de forma a evitar o seu colapso.

A NBR 14432/2001 –“**Exigências de Resistência ao Fogo de Elementos Construtivos de Edificações**”– fornece os requisitos mínimos de resistência ao fogo recomendados para as estruturas de uma edificação, independentemente do material do qual ela é constituída. A legislação de cada região pode prever exigências diferentes da Norma Brasileira e devem ser consultadas sempre que for necessário (MENDES, 2004).

Na figura 5 apresenta-se a curva Temperatura x Tempo representativa de um incêndio natural. A fase inicial passa a ser desconsiderada e a fase de resfriamento é ajustada por uma reta.

Figura 5 – Curva Temperatura x Tempo de um incêndio-natural.



Fonte: Mendes, 2004

Segundo a NBR 14432/2001, todos os materiais utilizados na construção devem ter condições de cumprir certas exigências mínimas normativas, de acordo com a função a desempenhar do edifício. Essa norma estabelece as condições a serem atendidas pelos elementos estruturais e de compartimentação que integram os edifícios, para que, em situação de incêndio, seja evitado o colapso.

É recomendado ter conhecimento da constituição da estrutura da edificação em seus detalhes. Sustentação, fechamento (paredes), pisos, teto, mobiliário, material estocado possibilitam uma avaliação da carga de incêndio e estratégia de combate. O conhecimento da natureza física e química do fogo ajuda no controle e na extinção do incêndio.

Segundo Andrade (2010), o controle das características de reação ao fogo dos materiais incorporados aos elementos construtivos, no processo de construção

do edifício está associado ao crescimento do incêndio. A limitação da propagação do incêndio ajuda para uma evacuação segura e para a não propagação de incêndio entre edificações vizinhas.

A NBR 14432/2001 estabelece nos itens 3.3 e 3.4 que:

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 os revestimentos das paredes divisórias, pisos e tetos.

3.4 carga de incêndio específica: Valor da carga de incêndio dividido pela área do piso considerado (ABNT, 2013, p.2).

A NBR 14323/2013 apresenta em 5.5 – Materiais de proteção contra incêndio que:

[...] as propriedades térmicas e mecânicas, a aderência ao aço e a eficiência das juntas dos materiais de proteção contra incêndios devem ser determinadas por ensaios realizados em laboratório nacional ou laboratório estrangeiro, de acordo com a NBR 5628/2001 ou de acordo com a norma ou especificação estrangeira.

No que se refere as ligações em estrutura metálica, elas devem ser projetadas para resistir às solicitações em situação de incêndio. De acordo com a NBR 14323/2013:

[...] 8.4.6.1.2 Quando necessárias, as ligações devem ser protegidas de maneira que se alguma parte das mesmas falhar, a resistência a incêndio de qualquer elemento não conectado não seja reduzida.

8.4.6.1.3 Nenhuma verificação adicional nas ligações é necessária se estas forem envolvidas por material de proteção contra incêndios com a mesma espessura dos elementos estruturais conectados, podendo-se, ainda, adotar a redução de proteção nos parafusos indicada em 8.4.6.1.4, ou determinar a proteção dos elementos da ligação, como cantoneiras, com base na temperatura obtida segundo 8.5.4 (elevação da temperatura do aço) (ABNT, 2013, p. 29).

5 MATERIAIS DE REVESTIMENTO TÉRMICO CONTRA INCÊNDIO

Os materiais de revestimento contra incêndio devem apresentar baixa massa específica, baixa condutividade térmica, alto calor específico, custo compatível, condições de perfeita aderência às estruturas em que serão aplicados.

Para evitar patologias, como fissuras ou desprendimentos, os materiais devem trabalhar acompanhando o movimento da estrutura. É necessário que a durabilidade seja igual à vida útil da estrutura, dispensando manutenção e possibilitando facilidade para reparos. Não podem ser higroscópicos, ou seja, que tenham tendência a absorver água para garantir que o aço não receba umidade. Não devem conter espaços vazios, impedindo que insetos se instalem no seu interior (MENDES, 2004).

5.1 Classificação dos revestimentos térmicos

Atualmente os materiais utilizados como revestimentos térmicos são classificados segundo três critérios:

- Quanto ao material constituinte: alvenaria, concreto de cimento Portland, argamassas à base de cimentos, de fibras, de vermiculite, pintura intumescentes, placas de gesso, de lã de rocha, mantas.
- Quanto à morfologia: referente aos tipos de contornos, que pode ser tipo caixa com vão ou sem vãos. Este revestimento consiste na aplicação sobre a superfície a proteger de placas pré-fabricadas de gesso, concreto leve de cimento e vermiculite. Pode ser utilizado o revestimento por paredes de pequena espessura com tijolos maciços ou blocos de gesso, etc.
- Quanto à técnica de aplicação: aplicados manualmente, jateados, fixados nas estruturas por pinos ou perfis leves de aço (MENDES, 2004).

5.2 Espessuras do material de revestimento

Segundo (ANDRADE, 2010), no Brasil, o IPT realiza ensaios em barras verticais, com os quatro lados expostos ao incêndio, permitindo elaborar tabelas, denominadas Cartas de Cobertura, que indicam a espessura necessária de cada material de proteção, em função do fator de massividade do perfil de aço e do TRRF.

Nesta Carta, para cada fator de massividade do perfil e para o TRRF estabelecido para o elemento estrutural, é indicada a espessura do material de proteção térmica, considerando uma temperatura preestabelecida.

5.2.1 Fator de massividade ou fator de forma

Segundo (SILVA, 2010), o fator de massividade é uma característica geométrica do elemento submetido ao ensaio. É dado pela relação entre sua área exposta ao fogo e o volume do elemento. O fator de massividade procura representar a relação entre a quantidade de calor fornecido ao perfil pelas chamas e a quantidade de material a ser aquecido.

Uma seção de baixa esbeltez, de grande massa, se aquecerá mais lentamente do que uma seção esbelta. Assim uma seção com maior fator de massividade terá uma maior resistência ao fogo (PANNONI, 2007).

Não obstante o conceito de fator de massividade ser apropriado somente para elementos com distribuição uniforme de temperatura, ele é geralmente estendido a outras situações, visto que uma ou mais faces dos perfis estão protegidas por lajes ou paredes.

Fator de massividade = u/A , expresso usualmente em m^{-1}

Em edifícios, da mesma maneira, o fator de massividade das vigas de aço é menor que o dos pilares, devido a estas apresentarem uma face a menos exposta ao fogo, em razão da presença das lajes (ALVA, 2000).

A figura 6 mostra quatro configurações de proteção para uma viga W 460 X 52,0. Para ser determinada a espessura da proteção por argamassa projetada (em três lados), por um tempo de 1 hora, deve-se, primeiro, definir o fator de massividade da viga. Em seguida, deve-se observar, na Carta de Cobertura do fabricante do material de proteção passiva, a espessura recomendada.

Figura 6 – Mostra que um mesmo perfil pode ter diferentes fatores de formas.

O FATOR DE FORMA DE UM DADO PERFIL É FUNÇÃO DE COMO ELE É PROTEGIDO.
COMO EXEMPLO, UM PERFIL W 460 x 52,0 PODE APRESENTAR DIFERENTES FATORES DE FORMA.



Extraída de Pannoni, 2007.

A figura 7 e Tabela 4 indicam um procedimento de cálculo da espessura do revestimento.

Figura 7– Cálculo da espessura do revestimento.

1. COMECE PELA LISTA DE MATERIAIS:

Item	Tipo	Material	Comprimento (perfil).mm	Quantidade
1	Viga	W 200 x 15,0	12000	48
2	Pilar	HP 310 x 79,0	12000	34

2. DETERMINE O TRRF:
(VEJA A NBR 14432:2000)

- DETERMINE A OCUPAÇÃO (ANEXO B)
- DETERMINE A ALTURA



EXEMPLO:

T.R.R.F. = 60 MINUTOS

3. DETERMINE O FATOR DE MASSIVIDADE DOS MATERIAIS
(VEJA TABELA)EXEMPLO
(PARA PROJETADOS):PILAR (4 LADOS)
HP 310 x 79,0: 189 m⁻¹4. DETERMINE A ESPESSURA MÍNIMA A SER APLICADA
(VEJA CARTA DE COBERTURA)

Fator de Forma (m ⁻¹)	Resistência ao Fogo (min)				
	30	60	90	120	180
115	10	15	22	29	42
120	10	15	22	29	41
125	10	16	23	30	45
130	10	16	23	31	46
135	10	16	24	32	47
140	10	17	24	32	48
145	10	17	25	33	49
150	10	17	25	34	50
155	10	18	26	34	
160	10	18	26	35	
165	10	18	27	35	
170	10	19	27	36	
175	10	19	28	37	
180	10	19	28	37	
185	10	19	28	38	
190	10	20	29	38	
195	10	20	29	39	
200	11	20	30	39	
205	11	20	30	40	
210	11	21	30	40	
215	11	21	31	41	
220	11	21	31	41	
225	11	21	31	41	
230	11	22	32	42	
235	11	22	32	42	
240	12	22	32	43	
245	12	22	33	43	
250	12	22	33	43	
255	12	23	33	44	
260	12	23	33	44	
265	12	23	34	45	
270	12	23	34	45	

ESPESSURA SECA MÍNIMA
PARA ESTE COMPONENTE
(O PILAR HP 310 x 79,0):**20 mm**

Tabela 4– Fator de massividade para os Perfis Gerdau Açominas

Fator de Massividade para os Perfis Gerdau Açominas							Fator de Massividade, m ³			
							Aberto		Caixa	
							3 lados	4 lados	3 lados	4 lados
BITOLA	Massa Linear (kg/m)	Altura do Perfil (mm)	Largura das Abas (mm)	Espessura da Alma (mm)	Espessura da Aba (mm)	Área da Seção (cm ²)				
W 150 x 13,0	13,0	148	100	4,3	4,9	16,6	343	404	239	299
W 150 x 18,0	18,4	153	102	5,8	7,1	23,4	249	293	174	218
W 150 x 22,5 (H)	22,7	152	152	5,8	6,6	29,0	252	305	157	210
W 150 x 24,0	24,7	160	102	6,6	10,3	31,5	188	221	134	167
W 150 x 29,8 (H)	30,2	157	153	6,6	9,3	38,5	193	233	121	161
W 150 x 37,1 (H)	37,5	162	154	8,1	11,6	47,8	157	190	100	132
W 200 x 15,0	15,2	200	100	4,3	5,2	19,4	347	399	258	309
W 200 x 19,3	19,7	203	102	5,8	6,5	25,1	272	312	202	243
W 200 x 22,5	22,7	206	102	6,2	8,0	29,0	238	273	177	213
W 200 x 26,6	26,9	207	133	5,8	8,4	34,2	229	268	160	199
W 200 x 31,3	31,7	210	134	6,4	10,2	40,3	196	230	137	171
W 200 x 35,9 (H)	35,9	201	165	6,2	10,2	45,7	190	226	124	160
W 200 x 41,7 (H)	42,0	205	166	7,2	11,8	53,5	163	194	108	139
W 200 x 46,1 (H)	46,0	203	203	7,2	11,0	58,6	168	203	104	139
W 200 x 52,0 (H)	52,5	206	204	7,9	12,6	66,9	148	178	92	123
HP 200 x 53,0 (H)	53,5	204	207	11,3	11,3	68,1	145	176	90	121
W 200 x 59,0 (H)	59,6	210	205	9,1	14,2	76,0	131	158	82	109
W 200 x 71,0 (H)	71,5	216	206	10,2	17,4	91,0	111	134	70	93
W 200 x 86,0 (H)	87,0	222	209	13,0	20,6	110,9	92	111	59	78
W 250 x 17,9	18,1	251	101	4,8	5,3	23,1	337	381	261	305
W 250 x 22,3	22,7	254	102	5,8	6,9	28,9	272	307	211	247
W 250 x 25,3	25,6	257	102	6,1	8,4	32,6	242	273	189	220
W 250 x 28,4	28,7	260	102	6,4	10,0	36,6	217	245	170	198
W 250 x 32,7	33,0	258	146	6,1	9,1	42,1	220	255	157	192
W 250 x 38,5	38,9	262	147	6,6	11,2	49,6	188	218	135	165

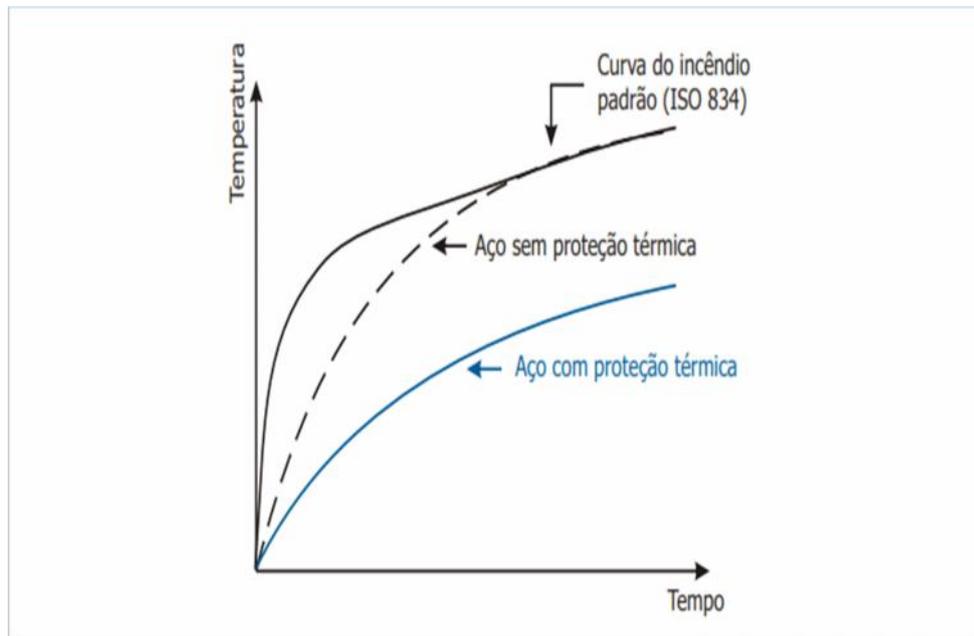
Extraída de Pannoni, 2007.

5.3 Tipos de materiais utilizados para o revestimento térmico contra incêndio

Segundo registros que se tem, o primeiro material de proteção passiva contra incêndio foi patenteado na Inglaterra em 1722, por David Hartley. Foram utilizadas placas metálicas separadas por areia.

A proteção passiva é o meio mais comum para proteger estruturas metálicas contra incêndio (SILVA, 2010). Na figura 8 o gráfico mostra como funciona a proteção térmica.

Figura 8 – Como funciona a proteção térmica



Extraída: Pannoni 2007.

Os materiais mais utilizados no Brasil com esta finalidade serão apresentados abaixo:

5.3.1 Materiais projetados

São produtos econômicos que apresentam bom isolamento térmico às altas temperaturas, mantendo a integridade das estruturas durante o incêndio, possuem resistência ao fogo de até 240 minutos. São a base de gesso contendo fibras minerais, vermiculite expandida, cimentícia e outros agregados leves (PANNONI, 2007). A tabela 5, apresenta as propriedades típicas dos materiais isolantes.

Tabela 5 - Propriedades dos materiais isolantes.

Material	Densidade (Kg/m³)	Calor específico (J/Kg°C)	Condutividade (W/m°C)
Argamassa de fibras minerais	200 - 350	1050	0,08 - 0,1
Placas de vermiculita	150 - 300	1200	0,12 - 0,17
Placas de vermiculita e gesso	800	1200	0,15
Argamassa de vermiculita	300 - 800	920	0,06 - 0,15
Argamassa de gesso	500 - 800	1700	0,02 - 0,23
Mantas de fibras minerais	100 - 500	1500	0,23 - 0,25
Mantas cerâmicas	64 - 192	1067	0,1 - 0,25
Concreto celular	300 - 1000	1200	0,12 - 0,40
Concreto leve	1200 - 1600	1200	0,64 - 0,81
Concreto de cimento Portland	2200 - 2400	1200	1,28 - 1,74

Extraída: Mendes, 2004.

5.3.2 Argamassas Projetadas

São produtos de fácil e rápida aplicação, sendo um dos mais baratos utilizados atualmente. Apresentam bom isolamento térmico a altas temperaturas, porém, considerados sem acabamento adequado. As argamassas projetadas devem trabalhar monoliticamente com a estrutura e acompanhar seus movimentos sem que ocorram fissuras e desprendimento.

Sua durabilidade deverá ser a mesma da estrutura não promovendo nenhum tipo de ataque corrosivo ao aço. Precisam apresentar índice zero de

combustibilidade e propagação de chamas. Na tabela 6, serão apresentadas as vantagens e desvantagens das argamassas projetadas.

Tabela 6 – Vantagens e Desvantagens das argamassas projetadas.

Vantagens	Desvantagens
Menor custo dentre todos os materiais	Aspecto visual rústico
Maior velocidade de aplicação, alta produtividade	Baixa resistência a impactos mecânicos
Dispensa necessidade de tratamento superficial e primer	Não deve permanecer exposto à intemperismos
Durabilidade equivalente à vida útil da edificação	Dificuldade na pintura
	30 dias para secagem

Fonte: Dias, 2002.

As argamassas devem ser aplicadas imediatamente após concretagem das lajes. A aplicação em fase posterior pode implicar em diminuição da produtividade, pois podem ocorrer interferências com outras etapas da obra e custos com limpeza (PANNONI, 2007).

Esse material é aplicado por jateamento (Figuras 9 a 13).

Figura 9 – Aplicação de argamassa projetada em pilar.



Fonte: Mendes, 2004

Figura 10 – Argamassa projetada, alisada (a) e pintada (b).



(a)



(b)

Fonte: Andrade, 2010

Figura11– Argamassa projetada em vigas de aço.



Fonte: Dias, 2002

Figura 12– Aplicação de argamassa Monokote MK-6.



Fonte: Pannoni, 2007.

Figura 13– Aplicação de Argamassa BlazeShield II.



Fonte: Pannoni, 2007

5.3.3 Argamassas Cimentícias

Têm alto índice de material aglomerante, o que lhes confere boas características mecânicas, tais como resistência à erosão sob corrente de ar, alta aderência ao substrato, alta resistência à compressão e à abrasão. A sua composição é de acordo com a aplicação.

Argamassas de baixa densidade, 240 Kg/m^3 , são indicadas para o interior das edificações já as de médias e altas densidades têm como aglomerante básico o cimento Portland. Apresentam densidades de 350 Kg/m^3 e 640 Kg/m^3 , respectivamente.

São indicadas para usos externos e locais onde necessitem de materiais com alta resistência contra impactos de umidade. É aplicada por jateamento ou com o uso de espátulas, não sendo necessário o uso de telas ou pinos para aderência à superfície metálica (MENDES, 2004).

As argamassas de médias e altas densidades apresentam outras vantagens com relação à argamassa de baixa densidade. Elas possuem grande

resistência a impactos e à umidade, podendo ficar expostas a intempéries, bem como dar acabamento de superfície lisa.

Uma das argamassas projetadas, Cimentícias muito utilizadas no Brasil, é o Monokote MK-6, importado dos E.U.A. Possui baixa massa específica (240 kg/m^3) atóxico, aplicado por projeção diretamente sobre a estrutura.

É composta basicamente por 82% gesso, 2% de cimento Portland e por resinas acrílicas, não existindo nenhum tipo de reação química após sua aplicação ou quando exposto a altas temperaturas (SILVA, 2003).

Abaixo, são apresentados alguns exemplos de **Cartas de Cobertura**. Estas tabelas, construídas com base em resultados experimentais, apresentam a espessura necessária para o material de proteção, em função do fator de massividade (F) e do T.R.R.F., para uma temperatura crítica determinada.

Nas tabelas 7 e 8, são indicadas as espessuras para a argamassa projetada Monokote MK6, para temperatura de 650 C° e $550 \text{ }^\circ\text{C}$, respectivamente.

Tabela 7 – Espessura da argamassa Monokote MK6 (mm), em função de F e do TRRF, para $\Theta_{cr} = 650^\circ\text{C}$

F (m-1)	Monokote MK6			
	T.R.R.F. (minutos)			
	30	60	90	120
	Espessuras (mm)			
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
310	12	24	37	49
320	12	25	37	50

Fonte: Andrade, 2010

Tabela 8 – Espessura da argamassa Monokote MK6 (mm), em função de F e do TRRF, para $\Theta_{cr}=550^{\circ}\text{C}$.

F (m-1)	T.R.R.F. (min.)				
	30	60	90	120	190
30	10	10	10	10	15
60	10	10	14	18	17
90	10	12	18	25	37
120	10	15	22	30	45
150	10	17	26	34	52
180	10	19	28	38	57
210	10	20	31	41	62
240	11	22	33	44	66
270	11	23	35	47	-
320	12	25	37	50	-

Fonte: Mendes, (2004)

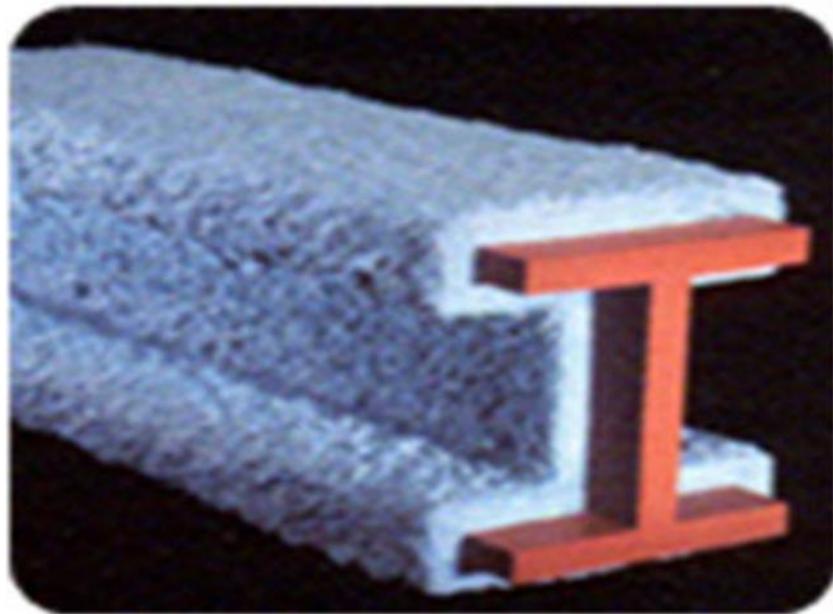
5.3.4 Fibras projetadas

São produtos compostos por fibras minerais, geralmente lã de rocha, misturadas com baixo teor de aglomerante. Estas fibras são misturadas com escória de alto-forno para criar uma mistura de baixa densidade.

A proteção à base de fibras utiliza as propriedades isolantes da fibra para proteger o aço (Figuras 14 e 15). Esta mistura é projetada sobre a estrutura. Assim como as cimentícias, apresentam elevada aderência, dispensando o uso de pinos ou telas (PANNONI, 2007).

Devem ser realizadas durante a fase de construção, podendo também ser aplicada durante períodos de reformas. O material que as constituem não necessitam mistura prévia, e secam rapidamente (MENDES, 2004).

Figura 14–Estrutura revestida por fibras projetadas.



Fonte: www.unifrax.com.br

Figura 15 – Aplicação de fibras projetadas.



Aplicações em paredes de fornos

Fonte: www.unifrax.com.br

Na tabela 9 são indicadas a espessura para argamassa composta por fibras projetadas.

Tabela 9 – Espessura de argamassa composta por fibras projetadas, BlazeShield II, em mm, em função de F e do TRRF, para $\approx 550^{\circ}\text{C}$.

F (m-1)	BlazeShield II			
	T.R.R.F. (minutos)			
	30	60	90	120
	Espessuras (mm)			
30	10	10	10	10
40	10	10	10	12
50	10	10	11	14
60	10	10	12	16
70	10	10	14	18
80	10	10	15	20
90	10	11	16	22
100	10	12	18	24
110	10	13	19	25
120	10	13	20	27
130	10	14	21	28

140	10	15	22	30
150	10	15	23	31
160	10	16	24	32
170	10	16	25	33
180	10	17	26	34
190	10	17	26	35
200	10	18	27	36
210	10	18	28	37
220	10	19	28	38
230	10	19	29	39
240	10	20	30	40
250	10	20	30	40
260	10	20	31	41
270	10	21	31	42
280	10	21	32	42
290	10	21	32	43
300	11	22	33	44
310	11	22	33	44
320	11	22	34	45

Fonte: Andrade, 2010

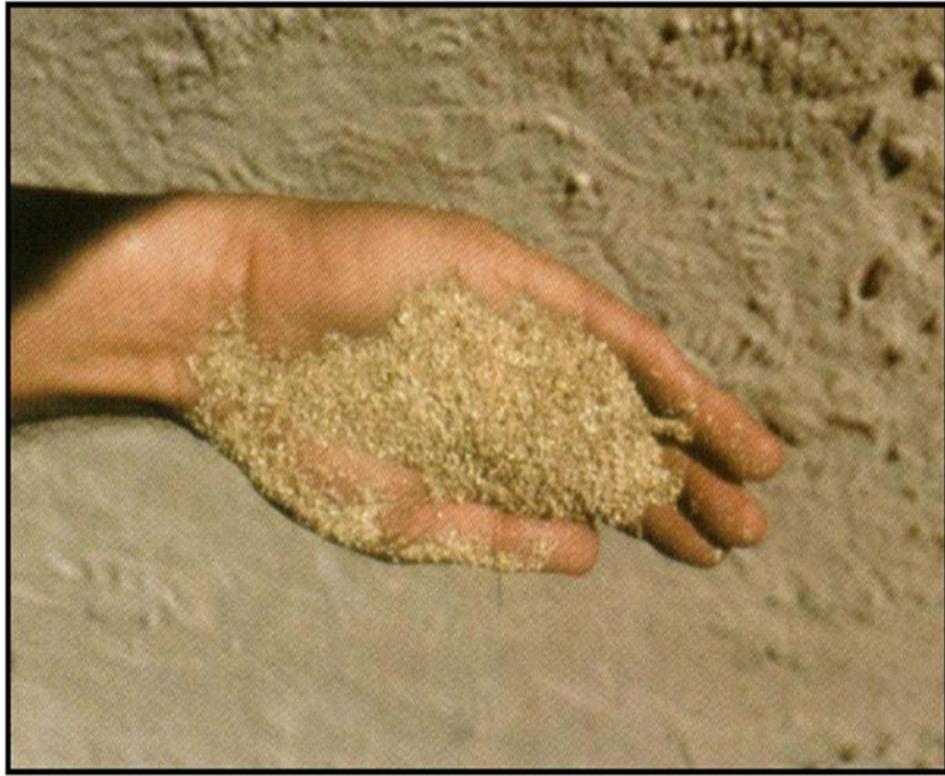
5.3.5 Argamassa projetada à base de vermiculita

Trata-se de um produto de baixa densidade à base de vermiculita, cimento e aglomerantes minerais (Figura 16). Este material deve ser completamente isento de amianto, e, para melhorar sua aderência ao aço, costuma ser necessária a utilização de telas (PANNONI, 2007).

Veja-se o que Dias (2002) afirma sobre a vermiculita:

A vermiculita é um agregado mineral incombustível de estrutura lamelar que, exposto a uma determinada temperatura expande-se, tornando o principal agregado da argamassa. Esta é comercializada na forma de flocos e misturada a seco aos demais componentes, na própria obra, com posterior adição de água. Para o tempo de proteção requerido de 30, 60, 90 e 120 minutos, um perfil com fator de massividade 170m^{-1} , por exemplo, irá necessitar camadas com espessuras de 10, 20, 30, 40 mm, respectivamente.

Figura 16 – Aspecto da vermiculita na forma de flocos.



Fonte: Mendes, 2004

A vermiculita, quando aquecida, perde água, intumescce e se expande ortogonalmente. Sua densidade varia de 100 a 130 Kg/m³.

A aplicação deve ocorrer durante a etapa de montagem das estruturas, pois requer limpeza após a aplicação, que pode ser feita por jateamento ou com uso de espátulas. Contudo, requer a utilização de pinos soldados na estrutura e telas para sua adequada fixação.

A vermiculita é um material abundante no Brasil o que contribui para menor custo deste material. Não fosse a utilização de telas e pinos, esse sistema seria mais utilizado em obras convencionais (SILVA, 2003). A figura 17 mostra uma estrutura em que foi aplicada argamassa à base de vermiculita.

Figura 17– Argamassa projetada à base de vermiculita.



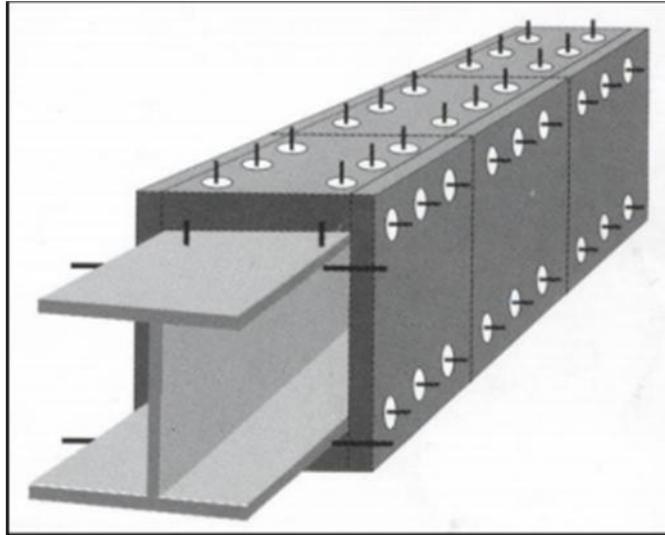
Fonte: Mendes, 2004

5.3.6 Placas Rígidas

Este revestimento consiste em placas rígidas que envolvem a estrutura de aço, isolando-a das altas temperaturas. Propiciam a proteção estrutural do mesmo de modo que os materiais são fixados a seco ou ao redor do aço utilizando clip, pino ou sistemas próprios. Podem ser encontradas de três formas diferentes: placas de gesso acartonado, placas de lã de rocha e as mantas cerâmicas.

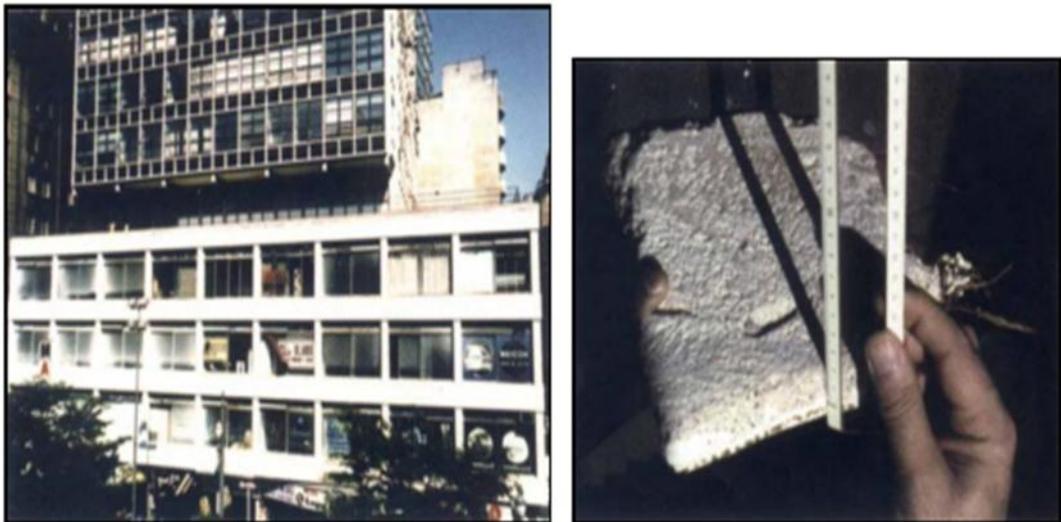
Os materiais apresentam uma boa aparência em geral na forma de caixa. Pode ser aplicado sobre a estrutura de aço não pintada. Pelo fato de ser um produto industrializado, as espessuras são garantidas. Apresenta a desvantagem de custo mais elevado do que os apresentados por materiais projetados, a dificuldade de instalação ao redor de detalhes complexos e baixa velocidade de aplicação (DIAS, 2002). Nas figuras 18 e 19 são apresentadas estruturas protegidas por placas rígidas.

Figura 18 - Estrutura protegida com placas rígidas de painéis autoclavados.



Fonte: Dias, 2002.

Figura 19 – Detalhe do revestimento com placas rígidas com 25 mm de espessura utilizada para proteger as vigas do edifício Palácio do Comércio – SP.



Fonte: Dias, 2002.

A tabela 10 é apresentada as vantagens e desvantagens das placas rígidas:

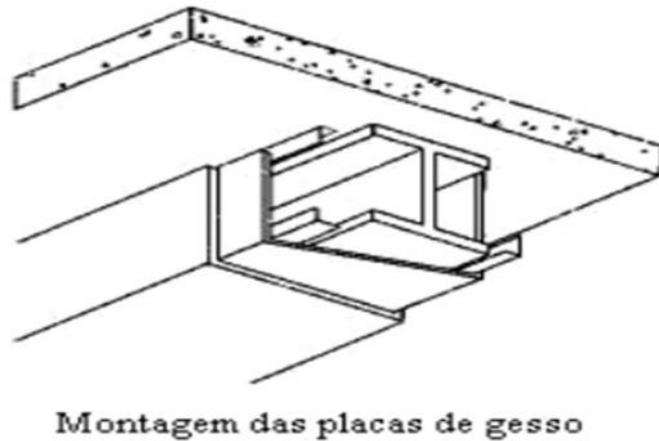
Tabela 10 – Vantagens e Desvantagens das placas rígidas

Vantagens	Desvantagens
Boa aparência	Custo pode ser elevado
Fixação a seco	Lento para fixação
Espessura garantida	Difícil fixação ao redor de detalhes complexos
Não necessita de preparo superficial	

Fonte: Pannoni, 2007

- Placas de Gesso Acartonado:** o gesso é o sulfato de cálcio que, no estado seco, contém cerca de 20% de água cristalizada. A água existente em sua constituição absorve calor para se vaporizar. Ao absorver grande quantidade de calor, o gesso retarda o aquecimento do perfil de aço, funcionando assim como material de proteção térmica. As placas de gesso possuem fibras de vidro e vermiculita na sua composição, possuem custo superior ao de placas de *dry-wall* convencionais de vedação, todavia apresentam um excelente acabamento. São utilizadas no interior dos edifícios e em razão de possuírem gesso em sua composição não pode permanecer expostas a intempéries (PANNONI, 2010). Na figura 20 é mostrada a montagem das placas de gesso em uma estrutura.

Figura 20 – Montagem das placas de gesso acartonado



Fonte: Mendes, 2004.

- **Placas de lã de rocha:** são produtos de lã de rocha produzidos a partir da fusão de pedras basálticas. São painéis de baixa densidade, rígidos ou flexíveis, feitos de materiais fibrosos, aglomerados pela adição de resinas termo-endurecíveis (DIAS, 2002).

São aplicados no sistema tipo caixa, fixados por pinos previamente soldados à estrutura ou por sistemas de travamento de encaixe sob pressão, sem utilização de soldas (MENDES, 2004). Pode ser visto na figura 21 uma estrutura em que foi utilizada placa de lã de rocha.

Figura 21– Placas de Lã de rocha.



Fonte: Andrade, 2010

É apresentado um exemplo de placa de lã de rocha na figura 22.

Figura 22 - Exemplo de placa de lã de rocha



Fonte: Mendes, 2004.

Será apresentada na tabela 11 uma Carta de Cobertura referente à placa de lã de rocha. As espessuras apresentadas são composições de placas com espessuras de 13 mm a 25 mm, motivo pelo qual há grande diferença de espessuras em correspondência a pequenas diferenças no fator de massividade.

Tabela 11– Espessura do painel (mm), em função de F e do TRRF, para $\Theta=550^{\circ}\text{C}$.

F (m-1)	T.R.R.F. (minutos)			
	30	60	90	120
30	25	25	25	25
60	25	25	25	25
95	25	25	25	38
140	25	25	38	50
160	25	25	38	63
190	25	25	50	75
240	25	38	63	88
300	25	38	63	88
320	25	38	63	100

Fonte: Mendes, 2004.

- **Mantas Cerâmicas:** segundo Dias (2002) é um produto flexível fabricado a partir da eletrofusão da sílica e alumina de alta pureza, resultando em fibras refratárias inorgânicas adensadas, garantido boa resistência, baixa densidade. Podem ser utilizadas no revestimento tipo caixa como também no revestimento tipo contorno. O tipo contorno é fixado por pinos soldados às peças metálicas e às arruelas. O sistema tipo caixa é mais barato porque implica fatores de forma mais baixos e menores áreas a revestir.

Devido a não resistir à umidade e à abrasão, as mantas cerâmicas devem ser utilizadas em locais protegidos por algum tipo de acabamento superficial.

As mantas de fibrocerâmicas apresentam:

- material com baixa condutividade térmica;
- elevada resistência a choques térmicos e ataques químicos.

A tabela 12 apresenta as vantagens e desvantagens das mantas cerâmicas:

Tabela 12 – Vantagens e Desvantagens mantas cerâmicas.

Vantagens	Desvantagens
Baixo custo quando comparado aos materiais rígidos	Aparência
Fixação a seco	

Fonte: Pannoni, 2007.

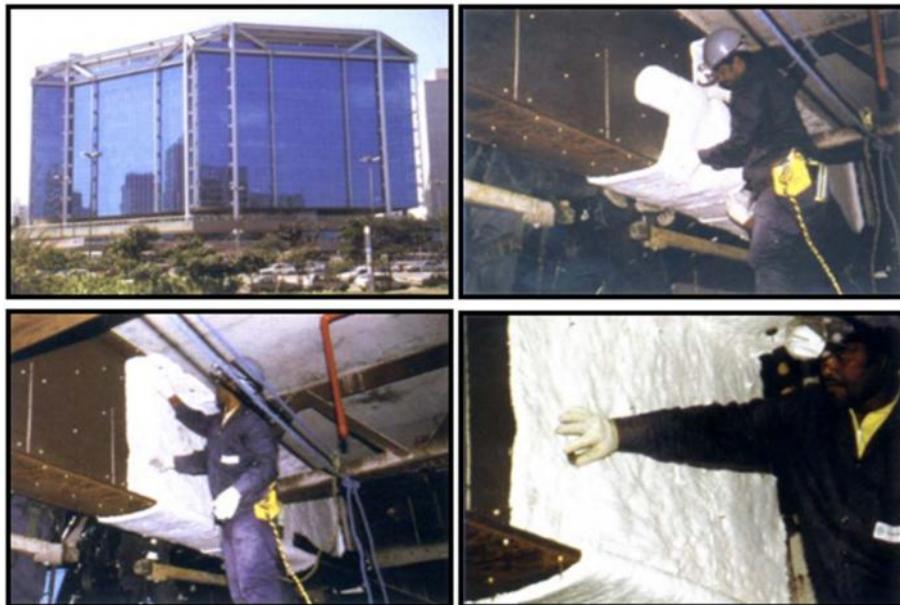
Nas figuras 23 e 24 são apresentados fotos de lã de vidro, fibra de cerâmica e lã de rocha bem como a aplicação na estrutura.

Figura 23 – Manta composta por: (a) lã de vidro, (b) fibra de cerâmica e (c) lã de rocha.



Fonte: Mendes, 2004

Figura 24 – Centro empresarial do aço protegido por manta de fibra cerâmica, São Paulo - SP.



Fonte: Dias, 2002.

5.3.7 Tintas Intumescentes

Segundo Pannoni (2010), a primeira patente é de 1938, tendo seu uso aumentado, em todos os países, nas últimas décadas. As tintas intumescentes são materiais aplicados na superfície do perfil que reagem ao calor, aproximadamente a 200°C/250°C intumescem, ou seja, iniciam um processo de expansão volumétrica.

A tinta expande sua espessura inicial aplicada quando aquecida (em torno de 60X), produzindo uma massa carbonácea que protege qualquer substrato sobre o qual o revestimento tenha sido aplicado.

Os revestimentos intumescentes possuem uma espessura de película seca menor do que 3 mm. Possui de modo geral, 3 componentes: um primer, a tinta intumescente (a fase que reage) e um selante (a pintura de acabamento), sendo que em alguns casos o primer ou o acabamento podem não ser necessários. São materiais que fornecem excelente acabamento. Contudo, têm preço elevado e devem ser utilizados com cautela para não inviabilizarem economicamente o empreendimento.

A aplicação da tinta inicia-se com a preparação da superfície do aço por meio de jato de areia, granalha de aço ou lixamento mecânico, sendo fundamental remover qualquer substância indesejada, como carepas de laminação e soldagem, graxas ou gorduras.

Posteriormente, aplica-se uma demão de primer epóxi compatível, com espessura de 50 a 60 µm, com uma segunda demão que deverá ser aplicada no local da edificação após a montagem. A tinta intumescente é aplicada, por meio de spray, pincel ou rolo, em várias demãos, até atingir a espessura necessária para a proteção passiva. É importante fazer um intervalo de 8 a 24 horas entre a aplicação das demãos (MENDES, 2004).

Os métodos mais usados para aplicação de tintas são: trincha, rolo, pistola convencional e pistola “airless spray”. A finalidade desses métodos é a mesma, ou seja, aplicar a tinta para obtenção de um filme uniforme sobre a superfície.

- **Trincha:** é o método de aplicação mais antigo e até hoje é de grande utilidade, sendo considerada uma ferramenta insubstituível na pintura industrial. Aspectos importantes a serem considerados são: largura, diâmetro e dureza das fibras. Para pintura de áreas grandes, utilizar trinchas de 1 a 1 ½ “. A trincha deve ser usada para pintura de peças de pequena dimensão, tais como, tubulações de pequeno diâmetro, estruturas leves, cantoneiras etc.
- **Rolo:** este método tem a vantagem de proporcionar maior rendimento produtivo em relação à trincha. Por ser também um método de aplicação por espalhamento, a espessura final pode apresentar grande variação. O movimento do rolo não deve restringir-se a um sentido apenas. Fazer movimentos cruzados com rolo uniformiza a película quanto à espessura. Recomenda-se que a primeira demão seja em um sentido e a segunda demão em outro sentido. O rolo utilizado em pintura industrial é feito com pelos de carneiro. O rolo epóxi de pelos aparados é recomendável para pintura de tintas epoxies. Os defeitos mais comuns na aplicação com trincha e rolo são: espessuras variáveis, estrias, impregnação de pelos e fibras, acabamento rugoso etc.
- **Pistola convencional:** na pintura por pulverização com utilização de pistola convencional, a atomização é feita com o auxílio de ar comprimido que entra na pistola convencional. A alimentação da tinta pode ser por sucção, pressão e gravidade. Os mais comuns na pintura industrial são por pressão (tanques) e por sucção (caneca).

Pode ser visto na Figura 25 a aplicação da tinta intumescente.

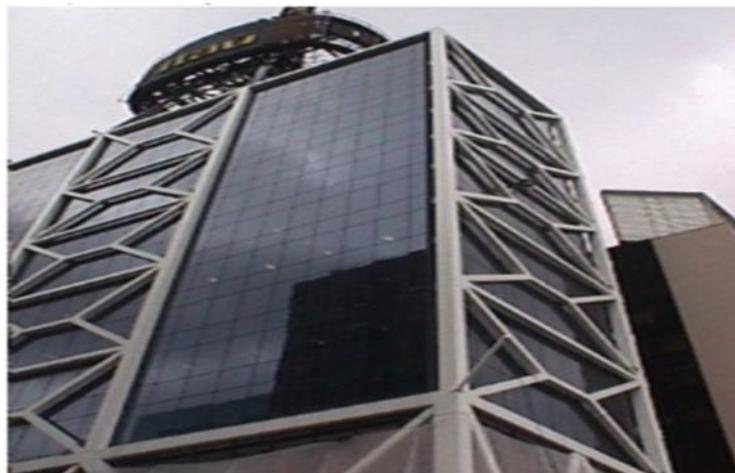
Figura 25– Aplicação de tinta intumescente.



Fonte: Mendes, 2004.

Na figura 26 é apresentada uma estrutura onde foi aplicada a tinta intumescente.

Figura 26 – Edifício Itaú Cultural na Avenida Paulista – SP.



Fonte: Refrasol, 2010.

A tabela 13 apresenta as espessuras necessárias da tinta intumescente em um pilar de seção I, com os quatro lados expostos ao incêndio.

Tabela 13 – Espessura, em mm, da tinta aplicada em função do fator de massividade F e do TRRF, para $\Theta_{cr} = 550^{\circ}\text{C}$.

F (m-1)	T.R.R.F. (min.)					
	Nullifire S605				Nullifire S607	
	30	60	90	120	30	60
30	0,25	0,74	1,48	2,47	0,2	0,44
100	0,25	0,74	1,48	2,47	0,2	0,44
120	0,32	0,74	1,48	2,47	0,2	0,64
150	0,49	1,27	1,73	3,96	0,2	0,88
180	0,49	1,27	2,31	4,7	0,32	0,88
210	0,55	1,45	2,97	5,94	0,38	0,98
240	0,63	1,69	3,71	-	0,46	1,12
270	0,99	2,23	5,19	-	0,6	1,25
290	0,99	2,23	-	-	0,6	1,25
320	0,99	2,23	-	-	0,6	1,25

Fonte: Mendes, 2004

Na tabela 14, são apresentadas as vantagens e desvantagens das tintas intumescentes.

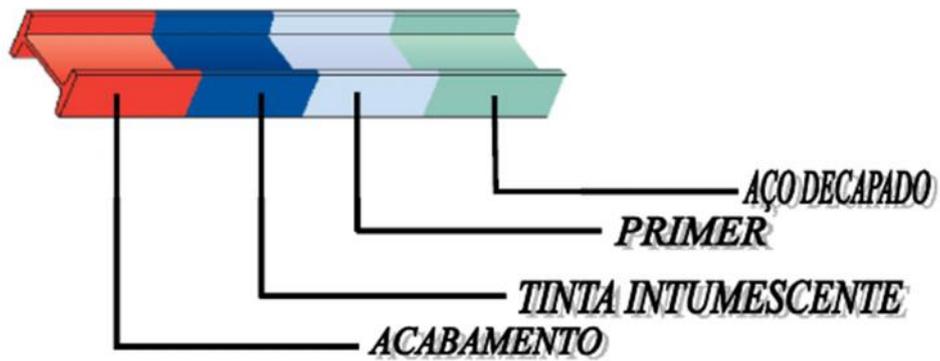
Tabela 14 – Vantagens e Desvantagens das tintas intumescentes.

Vantagens	Desvantagens
Boa aparência	Custo muito elevado
Cobertura de detalhes complexos	Sensíveis a condições climáticas adversas
Não toma espaço ou adiciona peso	Não competitiva para altos TRRF's
Aplicação rápida	

Fonte: Pannoni, 2007.

A figura 27 ilustra a sequência para aplicação da tinta em uma estrutura.

Figura 27 – Sequencia para aplicação da tinta na estrutura.



Fonte: Pannoni, 2007.

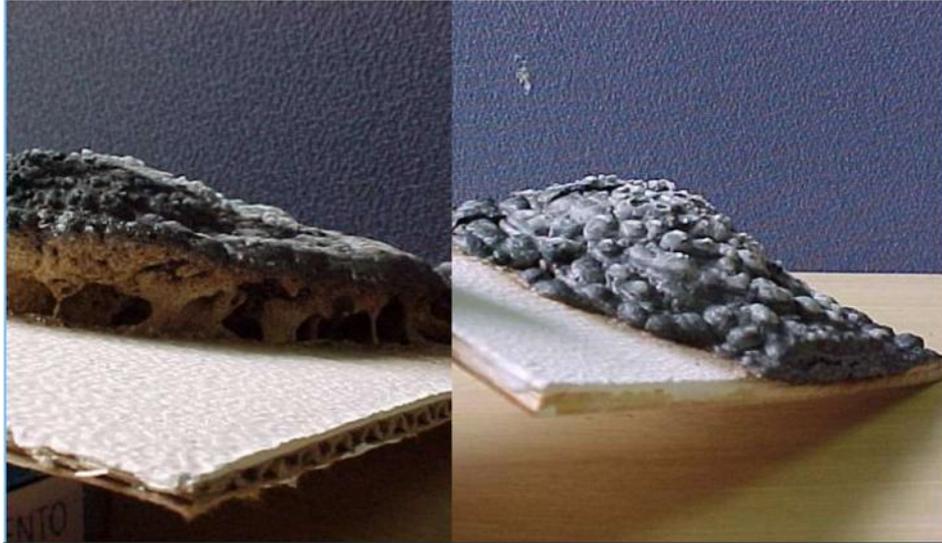
Nas figuras 28 a 30 pode ser visto como é antes e após um incêndio em uma estrutura onde foi aplicada tinta intumescente.

Figura 28 – Detalhes da sequência de eventos para o intumescimento da tinta na estrutura.



Fonte: Pannoni, 2007

Figura 29 - Tinta intumescente após incêndio.



Fonte: Pannoni, 2007

Figura 30 – Exemplo de tinta intumescente durante e após incêndio



Fonte: Pannoni, 2007.

As tintas disponíveis no mercado, seu fabricante e seus representantes, são apresentadas na tabela 15.

Tabela 15 – Produtos e Fabricantes das tintas intumescentes.

Produtos	Fabricante	Representantes no Brasil
Nullifire S605 e S607	Carboline	Unifrax Brasil
Firetex	Leigh'sPaints	Morganite do Brasil
Sprayfilm	Isolatek Internacional	Morganite do Brasil
Interchar 963	Tintas Internacional	Produzido no Brasil
Firesteel 47-A	Firetherm	CKC do Brasil
Calatherm 600	Tintas Calamar	Produzido no Brasil

Fonte: Pannoni, 2007.

As principais empresas especializadas na aplicação de tintas intumescentes são: PCF soluções em engenharia LTDA, Refrax engenharia, Refrasolcoml. intl. LTDA.

6 PESQUISA DE MERCADO

O valor unitário da proteção passiva está diretamente relacionado com o Tempo de Resistência Requerido ao Fogo (TRRF), da massividade dos perfis e da quantidade a ser aplicada. As argamassas de baixa densidade é a solução menos dispendiosa existente para proteção passiva contra incêndio no mercado.

Em edifícios de médio e grande porte, seu custo situa-se em torno de 8% do valor das estruturas. Na figura 31 apresentada abaixo é mostrado o comparativo de preços entre as argamassas e os outros tipos de proteção para um TRRF de 60 minutos:

Figura 31 – Gráfico comparativo de preços entre as proteções térmicas.

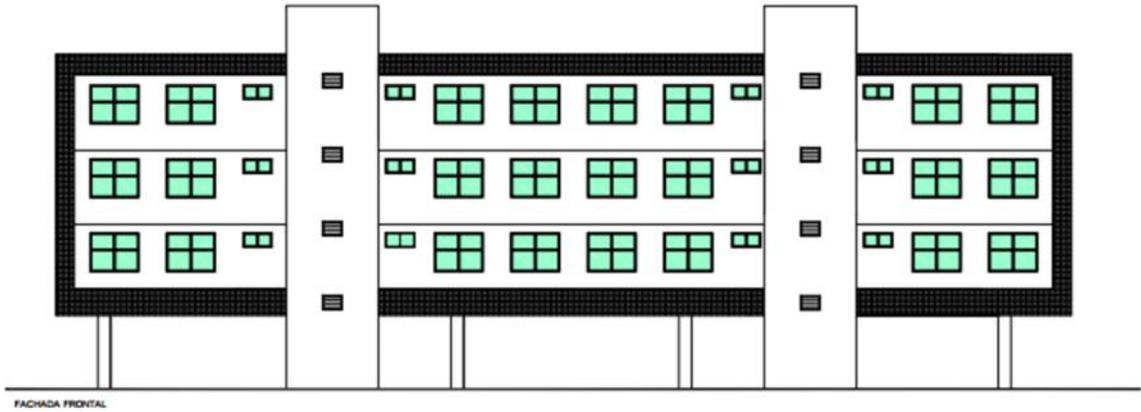


Fonte: Pannoni, 2007.

De uma forma geral, quanto maior o requinte estético e a resistência mecânica do material de proteção, maior o seu custo. Do mesmo modo, os materiais mais rústicos e de resistência mecânica inferior são os mais baratos.

Será apresentado um breve levantamento de custo de um edifício comercial composto por térreo e 3 pavimentos (1000 m² cada pavimento), fornecido pela empresa Unifrax Brasil Ltda representante de produtos de proteção térmica contra incêndio (Figuras 32 a 34):

Figura 32 – Fachada frontal da edificação.



Fonte: www.unifrax.com.br

Figura 33 – Fachada posterior da edificação.



Fonte: www.unifrax.com.br

Figura 34 – Corte longitudinal da edificação.



Fonte: www.unifrax.com.br

Na tabela 16 é apresentado alguns dados dos perfis utilizados nessa edificação.

Tabela 16: Dados dos perfis metálicos utilizados.

Elemento	Perfil Metálico	Quantidade (unidade)	Área Total a ser aplicada (m ²)	Fator de massividade (m-1)	TRRF (minutos)
Pilar	HP 310X79 Kgf/m	60	327,96	189	60
Viga	W 460X52 Kgf/m	104	1583,81	224	60

Fonte: www.unifrax.com.br

Considerando os dados acima, foi recomendado a aplicação de 2 produtos para a proteção passiva contra incêndio. Para as vigas será utilizado o produto:

- AD Type5 GP (argamassa projetada), que é fabricado pela Carboline nos Estados Unidos. Considerando que as vigas não ficarão expostas, pois é utilizado forro de gesso.

Para os pilares foi proposta a seguinte solução:

- Coat intumescente denominado Nullifire S707-60 (base água) que é produzido pela Nullifire na Inglaterra.

Nas Tabelas 17 e 18 seguem a especificação da quantidade a ser utilizada e os valores do custo de aplicação das proteções contra incêndio.

Tabela 17: Especificação dos produtos utilizados.

Produto	Tipo	Aplicação	Espessura de Aplicação (mm)	Área total a ser aplicada (m ²)	Consumo (Kg/m ²)
Nullifire S707-60	Tinta Intumescente	Pilares	-	327,96	1,029
AD Type5 GP	Argamassa Projetada	Vigas	10	1583,81	4,5
Observação: ICMS 18%. PIS e Cofins inclusos					

Fonte: www.unifrax.com.br

Tabela 18: Custo da aplicação da proteção contra incêndio.

Tipo	Preço (R\$/Kg)	Consumo (Kg/m²)	Preço Primer + acabamento (/m²)	Preço mão da obra para aplicação (/m²)	Quantidade total a ser utilizada (Kg)	Valor total do produto (R\$)	Valor Total do material aplicado (material + mão de obra)
Tinta Intumescente	R\$ 38,50	1,029	R\$ 30,00	R\$ 50,00	337,471	12.992,63	R\$ 39.229,43
Argamassa Projetada	R\$ 5,00	4,5	-	R\$ 30,00	7.127,15	35.635,73	R\$ 83.150,03
Custo Total para proteção contra incêndio nesta edificação							R\$ 122.379,46

Fonte: www.unifrax.com.br

Na tabela 19 é apresentado o custo por m² da tinta intumescente e da argamassa projetada utilizada no orçamento do edifício utilizado neste trabalho.

Tabela 19: Comparativo de preços TINTA X ARGAMASSA PROJETADA por m².

Elemento	Preço (R\$/Kg)	Preço Primer + acabamento (/m²)	Preço mão da obra para aplicação (/m²)	Consumo utilizado em 1m²(R\$)	Valor total da aplicação em 1m² (R\$)	Valor Total do material aplicado (material + mão de obra)
Pilares	R\$ 38,50	R\$ 30,00	R\$ 50,00	39,62	80,00	R\$ 119,62
Vigas	R\$ 5,00	-	R\$ 30,00	22,50	30,00	R\$ 52,50

Fonte: www.unifrax.com.br

Na tabela 20 foram acrescentadas duas colunas onde uma apresenta o valor para a construção da estrutura metálica sendo este valor por quilograma e outra tabela que mostra o custo total da estrutura dividido pelo peso da estrutura.

Tabela 20: Comparação dos resultados.

Elemento	Perfil Metálico	QTD. (unidade)	Peso Total (Kg)	Custo unitário da estrutura metálica (R\$/Kg)	Custo Total da estrutura metálica	Custo proteção térmica (material + mão de obra)	Custo Proteção + Custo Estrutura (R\$)	Custo Total (R\$) / Peso Total (Kg)
Pilar	HP 310X79 Kg/m	60	14.220	12,77	R\$ 181.589,40	R\$ 39.229,43	R\$ 220.818,83	R\$ 15,53
Viga	W 460X52 Kg/m	104	60.736	12,77	R\$ 775.598,72	R\$ 83.150,03	R\$ 858.748,75	R\$ 14,14
	Total	184	74.956	957188,12	R\$ 957.188,12	R\$ 122.379,46	R\$ 1.079.567,58	R\$ 14,40

Fonte: www.unifrax.com.br

7 CONCLUSÕES

Neste trabalho foram abordados os diversos aspectos relativos aos sistemas de proteção contra incêndio em elementos estruturais em aço e suas interações com o projeto de edificações, assim como a variação das propriedades mecânicas e térmicas do aço com a elevação da temperatura.

Os principais materiais empregados e métodos de proteção térmica foram apresentados, que por sua vez refletem no projeto de edificações em soluções que podem levar acréscimos dimensionais em área e altura.

Na análise comparativa de preços de tinta intumescente e argamassa apresentada, foi observado que a aplicação da tinta intumescente apresentou maior custo em relação a solução de aplicação de argamassa projetada, justificando a adoção da argamassa projetada como solução de proteção térmica mais utilizada no mercado da construção civil.

Como sugestão para trabalhos futuros podemos citar:

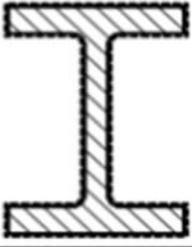
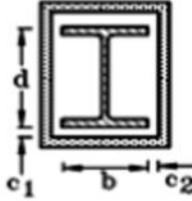
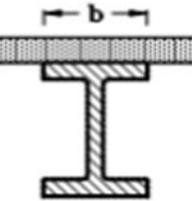
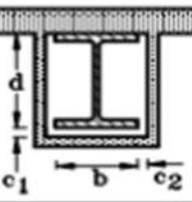
- análise do desempenho dos materiais de proteção térmica para outros elementos estruturais;
- utilização da madeira como material de proteção térmica, considerando o seu potencial como isolante.

REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14432**. Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações. Rio de Janeiro, 2001.
- _____. **NBR 14323**. Dimensionamento de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço-concreto em situação de incêndio. Rio de Janeiro, 2013.
- ALVA, Gerson Moacyr Sisniegas. **Sobre o Projeto de Edifícios em Estrutura Mista Aço-Concreto** – Projeto em Situação de Incêndio. São Carlos, 2000.
- ANDRADE, Cleide Cedeni. **Proteção Térmica em Elementos Estruturais de Aço**. Florianópolis, 2010. 194 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina.
- DIAS, Luís Andrade de Mattos. **Estruturas de Aço: conceitos, técnicas, e linguagem**. São Paulo, 2002.
- GUIMARÃES, Patrícia Pamplona de Oliveira. **Sobre o Dimensionamento do Revestimento Contra Fogo de Estruturas de Aço**. São Paulo, 2007. 266. Tese (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- MENDES, Cristiane Lopes. **Estudo teórico sobre perfis formados a frio em situação de incêndio**. São Carlos, 2004. 160 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- PANNONI, Fábio Domingos. **Coletânea do uso do Aço** - Princípios da Proteção de Estruturas Metálicas em situação de incêndio. 4.ed. São Paulo, 2007.
- Sistema Estrutural em Aço** - Proteção Estrutural Contra Incêndio. Disponível em: <http://www.cbca-acobrasil.org.br/artigos-tecnicos.php>. Acesso em: 27 de fev. 2014.
- Proteção de Estruturas Metálicas Frente ao Fogo**. Disponível em: <http://www.gerdau.com.br/arquivos.../20.brasil.es-ES.force>>. Acesso em: 25 de fev. 2014.
- SILVA, Valdir Pignatta; VARGAS, Mauri Resende; ONO, Rosária. **Prevenção Contra Incêndio no Projeto de Arquitetura**. Rio de Janeiro, 2010.

SILVA, Valdir Pignatta; PANNONI, Fábio Domingos. **Estruturas de Aço Para Edifícios: aspectos tecnológicos e de concepção.** São Paulo, 2010.

ANEXO A – Fator de Massividade para alguns elementos estruturais com revestimento contra fogo (extraída da NBR 14323)

Situação	Descrição	Fator de massividade (u_w/A)
	Seção com proteção tipo contorno de espessura uniforme exposta ao incêndio por todos os lados	$\frac{\text{perímetro da seção da peça de aço}}{\text{área da seção da peça de aço}}$
	Seção com proteção tipo caixa, de espessura uniforme exposta ao incêndio por todos os lados	$\frac{2(d + c_1 + b + c_2)}{\text{área da seção da peça de aço}}$
	Seção com proteção tipo contorno, de espessura uniforme exposta ao incêndio por três lados	$\frac{\text{perímetro da seção da peça de aço} - b}{\text{área da seção da peça de aço}}$
	Seção com proteção tipo caixa, de espessura uniforme exposta ao incêndio por três lados	$\frac{2d + c_1 + b + 2c_2}{\text{área da seção da peça de aço}}$

Fonte: ABNT, 2003, p.36.

ANEXO B – Tempos Requeridos de Resistência ao fogo (TRRF), em minutos

Tabela A.1– Tempos requeridos de resistência ao fogo (T.R.R.F.), em minutos

Grupo	Ocupação/uso	Divisão	Profundidade do subsolo		Altura da edificação				
			Classe S ₂	Classe S ₁	Classe P ₁	Classe P ₂	Classe P ₃	Classe P ₄	Classe P ₅
			h _s > 10 m	h _s ≤ 10 m	h ≤ 6 m	6 m < h ≤ 12 m	12 m < h ≤ 23 m	23 m < h ≤ 30 m	h > 30 m
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 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 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	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

Fonte: NBR14432/2001, p. 7