



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

JÉSSICA NOBERTO SILVA ARAÚJO

**DETERMINAÇÃO DA ESPESSURA ÓTIMA DA PROTEÇÃO CONTRA
INCÊNDIOS PARA VIGAS METÁLICAS ATRAVÉS DE PLANILHA ELETRÔNICA**

MOSSORÓ – RN

2019

JÉSSICA NOBERTO SILVA ARAÚJO

**DETERMINAÇÃO DA ESPESSURA ÓTIMA DA PROTEÇÃO CONTRA
INCÊNDIOS PARA VIGAS METÁLICAS ATRAVÉS DE PLANILHA ELETRÔNICA**

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA,
Centro de Engenharias para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Francisco Rosendo
Sobrinho

MOSSORÓ – RN

2019

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

A658d Araujo, Jessica Noberto Silva.
Determinação da espessura ótima da proteção
contra incêndios para vigas metálicas através de
planilha eletrônica / Jessica Noberto Silva
Araujo. - 2019.
77 f. : il.

Orientador: Francisco Rosendo Sobrinho.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2019.

1. Dimensionamento. 2. Proteção. 3. Incêndio.
4. Vigas. 5. Aço. I. Sobrinho, Francisco Rosendo,
orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

JÉSSICA NOBERTO SILVA ARAÚJO

**DETERMINAÇÃO DA ESPESSURA ÓTIMA DA PROTEÇÃO CONTRA
INCÊNDIOS PARA VIGAS METÁLICAS ATRAVÉS DE PLANILHA ELETRÔNICA**

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA,
Centro de Engenharias para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 19 / 03 / 2019.

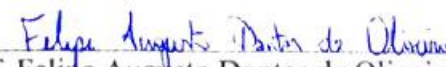
BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. Francisco Rosendo Sobrinho (UFERSA)
Presidente



Prof. Lorena Graciane Duarte Nêris (UFERSA)
Membro Examinador



Prof. Felipe Augusto Dantas de Oliveira (UFERSA)
Membro Examinador

]

*Dedico todo o meu esforço aqueles que
são os Pilares da minha vida, meus pais,
Francisca Leomar e Hélio Noberto.*

AGRADECIMENTOS

A presente monografia não é resultado apenas do esforço individual, mas sim, de diversas pessoas que contribuíram para o desenvolvimento desse trabalho, e são a elas que eu dedico os meus sinceros agradecimentos.

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado força e coragem para enfrentar os constantes desafios.

Aos meus pais, pela determinação em querer proporcionar o melhor para minha formação pessoal e profissional.

Ao meu namorado, Edson Fernandes Chavez Filho, pela paciência, compreensão, e por sempre está presente.

Ao meu orientador, Prof. Francisco Rosendo Sobrinho, pela disponibilidade, pelos momentos de paciência e preocupação, enfim, por ser excelente professor e orientador, sua ajuda foi de grande importância para minha formação acadêmica.

À Banca Examinadora por ter se disponibilizado e aceitado o convite de compor a banca.

Aos meus amigos pelo apoio, dedicação e paciência, e por sempre estarem ao meu lado me ajudando durante o decorrer da graduação.

Finalizo com sentimento de dever cumprido e mais uma etapa da minha vida concluída com sucesso! A todos que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento desse trabalho. Muito obrigada.

“Eu tentei 99 vezes e falhei, mas na centésima tentativa eu consegui, nunca desista de seus objetivos mesmo que esses pareçam impossíveis, a próxima tentativa pode ser a vitoriosa.”

Albert Einstein

RESUMO

As estruturas em aço são bastantes utilizadas nas construções, graças a sua elevada resistência mecânica, boa ductilidade e eficiência na sua execução. Porém, devido a redução das propriedades mecânicas do aço frente à elevadas temperaturas, são necessários métodos construtivos que podem evitar o colapso prematuro da edificação, fazendo com que os usuários tenham possibilidade de fuga da construção, caso venha a ocorrer um sinistro devido ao incêndio. A proteção é feita através de materiais específicos para proteção contra incêndio. Porém, os custos relacionados a esta prática, podem se tornar onerosas devido a dimensionamentos equivocados, gerando excessos de materiais. Este trabalho, tem por objetivo o dimensionamento de vigas frente ao fogo, de modo a otimizar a espessura dos materiais para proteção contra incêndio, diminuindo assim os custos com materiais de proteção. Sendo utilizado o *software Excel 2013*, para a criação de tabelas necessárias para este dimensionamento. Os resultados apresentados mostraram conformidade com os dados esperados. Ao se diminuir a rigidez e a área dos perfis, foi observado um aumento na temperatura do aço para uma dada Temperatura Requerida de Resistência ao Fogo (TRRF). Com o aumento da solicitação, será necessária uma maior proteção para que o perfil resista ao fogo. Foi possível verificar uma relação direta entre o TRRF, a temperatura do aço e a espessura do material de proteção. Os perfis soldados, por apresentarem maior peso, mesmo quando se manter a mesma altura (e consequentemente maior área), apresentaram uma menor necessidade na utilização da proteção contra incêndio.

Palavras-chave: Dimensionamento. Proteção. Incêndio. Vigas. Aço.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Triângulo do fogo.....	16
Figura 2 – Redução da resistência ao escoamento do aço e da resistência a compressão do concreto em função da temperatura.	19
Figura 3 –Redução do módulo de elasticidade do aço e do concreto em função da temperatura.	19
Figura 4 – Curva temperatura-tempo de um incêndio	20
Figura 5 – Método do tempo equivalente.....	22
Figura 6 – Curva de Incêndio-padrão.	27
Figura 7 – Coeficientes γ_g para ações permanentes diretas consideradas separadamente.	29
Figura 8 – Coeficientes γ_g para ações permanentes diretas agrupadas.	29
Figura 9 – Fatores de redução para o aço.....	31
Figura 10 – Efeito de sombreamento.	32
Figura 11– Aplicação de argamassa projetada.	34
Figura 12– Placa de gesso acartonado	36
Figura 13– Características geométricas do Perfil I.....	39
Figura 14– Dados de entrada.....	40
Figura 15– Dados de saída	41
Figura 16– Verificação do perfil W 610 x 174,0.....	43
Figura 17– Verificação do perfil W 460 x 52,0.	44
Figura 18– Verificação do perfil W 250 x 32,7.	45
Figura 19– Verificação do perfil W 150 x 13,0.	46
Figura 20– Carga solicitante de 100 kNm com uso de Argamassa Projetada.	48
Figura 21– Carga solicitante de 200 kNm com uso de Argamassa Projetada.	49
Figura 22– Carga solicitante de 100 kNm com uso de Placa Gesso.	50
Figura 23– Carga solicitante de 200 kNm com uso de Placa Gesso.	51
Figura 24– TRRF de 30 minutos com uso de proteção em argamassa projetada.	53
Figura 25– TRRF de 60 minutos com uso de proteção em argamassa projetada.	54
Figura 26– TRRF de 90 minutos com uso de proteção em argamassa projetada.	55
Figura 27– Perfil W 150 x 13,0.	57
Figura 28– Perfil CS 150 x 25,0	58
Figura 29– Perfil W 610 x 174,0.	59
Figura 30– Perfil CS 600 x 250,0.....	60

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – TRRF em função das características das edificações	21
Quadro 2 – Exemplos de edificações isentas de verificação de resistência ao fogo segundo a NBR 14432/2001	23
Quadro 3 – Comparativo entre as três principais soluções de proteção para Estrutura metálica	34
Quadro 4 – Vantagens e Desvantagens das argamassas projetadas.....	35
Quadro 5 – Vantagens e Desvantagens das placas Rígidas	36
Quadro 6 – Espessura dos materiais de proteção.....	37
Quadro 7 – Resumo da primeira aplicação.	47
Quadro 8 – Resumo da segunda aplicação.....	52
Quadro 9 –Resumo da terceira aplicação.....	56
Quadro 10 –Resumo da quarta aplicação.....	61

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS.....	12
2.1	OBJETIVO GERAL	12
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3	REVISÃO DE LITERATURA	13
3.1	UTILIZAÇÃO DO AÇO NA INDÚSTRIA CIVIL	13
3.1.1	Definição.....	13
3.1.2	Propriedades dos aços estruturais.....	13
3.1.3	Uso do aço nas construções.....	14
3.2	ESTRUTURAS DE AÇO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO	16
3.2.1	Histórico	16
3.2.2	Comportamento do aço frente ao fogo	18
3.2.3	Ações térmicas na estrutura decorrentes do incêndio	20
3.3	DETERMINAÇÃO DO TEMPO REQUERIDO DE RESISTÊNCIA AO FOGO – TRRF	21
3.3.1	Método Tabular	21
3.3.2	Método do tempo equivalente.....	22
3.3.3	Edificações isentas de verificação estrutural em incêndio.....	23
3.4	NORMAS.....	23
3.4.1	NBR 8800/2008 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios	24
3.4.2	NBR 14432/2001 – Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento	26
3.4.3	NBR 14323/2013 – Dimensionamento de estruturas de aço e de estruturas mistas aço-concreto de edifícios em situação de incêndio	28
3.5	MATERIAIS DE REVESTIMENTO TÉRMICO CONTRA INCÊNDIO	33
3.5.1	Argamassa projetada.....	34
3.5.2	Placa de gesso acartonada	35
3.5.3	Espessuras dos materiais para proteção.	36
3.6	OTIMIZAÇÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS	37
3.6.1	Definição.....	37
3.6.2	Utilização do <i>Excel</i> como <i>Software</i> otimizador	38

4	METODOLOGIA DO TRABALHO.....	39
4.1	PERFIS UTILIZADOS	39
4.2	PLANILHA UTILIZADA	40
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.1	PRIMEIRA APLICAÇÃO	42
5.2	SEGUNDA APLICAÇÃO	47
5.3	TERCEIRA APLICAÇÃO	52
5.4	QUARTA APLICAÇÃO	56
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	62
	REFERÊNCIAS.....	63
	APÊNDICE A – Fluxograma para determinação dos momentos	65
	ANEXO A – Tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF), em minutos.	66
	ANEXO B – Perfis W (Tipo I).....	67
	ANEXO C – Perfis CS (Tipo I).....	71
	ANEXO D: Fluxograma de verificação da temperatura	77

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, devido à ausência de grandes incêndios e grande número de vítimas, a regulamentação era escassa, não havendo normas sobre saídas de emergência, iluminação, sinalização, rotas de fuga e escadas protegidas. Após uma sequência de tragédia ao longo dos anos, foram necessárias mudanças nas regulamentações, até finalmente se chegar a legislação atual.

Mesmo após a criação de normas regulamentadoras sobre o combate a incêndio, ainda é muito comum encontrar projetos que ignoram esse problema, ao ver do projetista e até mesmo do comprador do imóvel esse tipo de problema ocorre de maneira rara, e que muitas vezes ignora esse fato com a intenção de não encarecer a construção com proteções nas estruturas.

Porém, durante condições típicas de incêndio, quando os elementos estruturais principais de uma construção em aço estão submetidos a altas temperaturas, os mesmos podem ter a sua resistência mecânica reduzida a ponto de levar uma parte ou toda a estrutura ao colapso.

Com a intenção de aumentar o tempo necessário para que a temperatura crítica seja atingida, ou seja, para se prolongar o tempo de resistência ao fogo, recorre-se normalmente à aplicação de materiais com isolantes térmicos sobre a superfície dos elementos estruturais. Como exemplo de materiais utilizados para isolamentos térmicos tem-se, revestimentos intumescentes, argamassas, placas de gesso e fibras minerais.

Apesar das estruturas metálicas em aço não serem tão facilmente destruídas pelo fogo, ainda assim, os projetos de construção civil busca reduzir o risco de incêndio e, caso isso ocorra, que ao menos a estrutura seja capaz de prolongar o tempo de início de deformação, dando assim uma maior segurança para a edificação.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Determinar a temperatura do perfil, assim como a espessura ótima dos materiais utilizados para a proteção de peças metálicas contra incêndios que possam vir a afetar estruturas metálicas (Vigas), sendo eles a argamassa projetada e gesso acantonado.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- (i) Explicar a importância do estudo acerca da proteção de estruturas em incêndios através da literatura;
- (ii) Verificar a utilização dos produtos, bem como o dimensionamento de elementos construtivos segundo as normas vigentes no país;
- (iii) Realizar estudos no *Excel* acerca da otimização dos materiais

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 UTILIZAÇÃO DO AÇO NA INDÚSTRIA CIVIL

3.1.1 Definição

O Aço é uma liga metálica constituído principalmente de ferro e pequenas quantidades de carbono (em torno de 0,002% até 2%). Já os aços estruturais utilizados na construção civil apresentam teores de carbono da ordem de 0,18 a 0,25%. Entre outras propriedades, o aço apresenta resistência e ductilidade, muito importante para a engenharia civil. Quando adequadamente dimensionado e detalhado, o aço resiste muito bem a maioria das solicitações. Mesmo em peças comprimidas, além de fornecer ductilidade, o aço aumenta a resistência à compressão (LIBÂNIO *et al*, 2007).

3.1.2 Propriedades dos aços estruturais

Devido ao rígido controle de qualidade que os materiais industrializados são submetidos, as características da liga metálica são certas e confiáveis. Com isso, os coeficientes de segurança utilizados no cálculo estrutural podem ser mais baixos (BANDEIRA, 2008).

De acordo com Bandeira (2008) é importante destacar outras propriedades desse material, tais como:

- **ELASTICIDADE:** é a capacidade de retornar à forma original após o efeito de carregamento e descarregamento (tensões de tração ou compressão). O aço deve sempre trabalhar em sua fase elástica, onde a sua deformação é proporcional ao esforço aplicado.
- **PLASTICIDADE:** é uma deformação permanente gerado pelo efeito de tensões iguais ou superiores ao limite de escoamento do aço. Deve-se impedir que a tensão correspondente ao limite de escoamento seja alcançada nas seções transversais das barras, como forma de limitar a sua deformação;
- **DUCTILIDADE:** é a capacidade de se deformar plasticamente sem se romper. As vigas de aço sofrem excessivas deformações antes de se romperem, o que representa um aviso da presença de tensões elevadas, diferentemente do ferro fundido, que não se deforma antes da ruptura. Quanto mais dúctil o aço maior é a redução de área ou o alongamento antes da ruptura;

- **TENACIDADE:** é a capacidade de absorver energia quando submetidos a um impacto. Um material dúctil com a mesma resistência de um material não-dúctil vai necessitar de uma maior quantidade de energia para ser rompido, sendo, portanto, um material mais tenaz.

3.1.3 Uso do aço nas construções

No Brasil o uso do aço como estrutura é algo recente, seguindo a tendência mundial, que já utiliza a décadas o aço como elemento estrutural para construção de edifícios de múltiplos andares, embora atrasado, o Brasil despertou para o mercado da construção industrializada. Esse sistema construtivo em aço é um dos métodos mais variados e abrangentes que se planejou nos últimos tempos, sendo o seu uso vantajoso quando comparado com os outros métodos. Pois, enquanto as estruturas convencionais ainda dispõem de uma limitação criativa, o aço possibilita construir estruturas com maior precisão e qualidade, por ser um material flexível, proporciona uma estrutura perfeitamente aprumada e nivelada. Sendo esse sistema compatível com qualquer tipo de fechamento, vertical ou horizontal, utilizando totalmente a alvenaria adicionando em suas estruturas os materiais convencionais ou até os pré-fabricados, como lajes, painéis, *drywall* (CORTEZ *et al.*, 2017).

O aço se apresenta como uma solução para o mercado em atender as necessidades urbanas que buscam criar estruturas cada vez mais altas e leves, demandando menos pilares possibilitando o melhor aproveitamento do espaço, ou seja, mais espaço útil no interior das construções. (CORTEZ *et al.*, 2017).

3.1.3.1 Vantagens das estruturas de aço

Por ser um material flexível em processo estrutural, o uso do aço proporciona liberdade para criar o que se desejar, dessa forma, diversas construtoras estão investindo no uso desse material na parte estrutural de casas, prédios e outras construções (CORTEZ *et al.*, 2017).

Segundo Cortez *et al.* (2017), o uso das estruturas de aço conta com inúmeras vantagens, tais como:

- **REDUÇÃO DO TEMPO DA OBRA** – devido ao fato de serem usadas peças pré-fabricadas, à possibilidade de se trabalhar em diversas frentes de serviço simultaneamente, à diminuição de fôrmas e escoramentos e a uma maior independência

em relação aos fatores climáticos. Sendo possível, com o uso de estruturas de aço reduzir em até 40% o tempo de execução quando comparado com os processos convencionais.

- **FACILIDADES NO CANTEIRO DE OBRAS** – em construções com estruturas metálicas é possível ter uma maior organização e limpeza no canteiro de obras, visto que elas são totalmente pré-fabricadas, o que reduz consideravelmente a quantidade de entulhos quando comparados com as construções convencionais, onde há a necessidade de grandes depósitos de areia, brita, cimento, madeira e ferragens.
- **RACIONALIZAÇÃO DE MATERIAIS E DE MÃO DE OBRA** – por contar com sistemas industrializados, as estruturas metálicas apontam uma redução no desperdício, quando comparados com uma construção convencional, onde esse desperdício pode chegar a 25% em peso.
- **MAIOR GARANTIA DE QUALIDADE** – é possível obter um maior controle de qualidade por ser um elemento pré-fabricado, onde a sua produção é obtida sob um rígido controle, existente durante todo o processo industrial, com utilização de uma mão-de-obra altamente qualificada, sendo possível entregar ao cliente uma obra com uma qualidade superior.

3.1.3.2 Desvantagens das estruturas de aço

De acordo com Cortez *et al.* (2017), assim como todo material, o aço apresenta suas desvantagens, apesar de não serem muito preocupantes deve ser instruída para se ter uma obra segura. É importante ter conhecimento sobre os pontos fracos dos materiais aplicados em construção para ocorrer eventuais complicações no desenvolvimento do projeto. Devido a isso serão apresentadas a seguir as suas desvantagens:

- **CUSTO** - dependendo do tipo e do planejamento da obra, a construção em aço pode-se apresentar como uma opção mais onerosa que as estruturas convencionais.
- **MÃO DE OBRA QUALIFICADA** – para a fabricação e execução das estruturas em aço, deve-se contar com uma mão de obra especializada.
- **VIABILIZA APENAS ELEMENTOS LINEARES** – o uso do aço se limita apenas a produção de elementos lineares, como vigas, pilares e treliças, por exemplo.
- **LIMITAÇÃO DO MERCADO** – muitas vezes à dificuldade para achar específicos tipos e perfis de aço.

- NECESSIDADE DE TRATAMENTO – devido ao contato com o ar atmosférico, as peças em aço necessitam passar por um tratamento superficial contra oxidação.

3.2 ESTRUTURAS DE AÇO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

3.2.1 Histórico

O fogo é a manifestação de uma reação química, conhecida como combustão, que é originada pelo desprendimento de luz e calor. Só é possível ocorrer a combustão na presença simultânea de combustível, calor, e de um comburente, esses elementos formam a clássica figura do Triângulo do Fogo, representado na Figura 1 (GOMES, 2014).

Figura 1 – Triângulo do fogo



Fonte: Simiano; Baumel (2013).

O fogo tem início e permanecerá aceso enquanto houver fornecimento simultâneo de um combustível, de calor e de um comburente (oxigênio). Na ausência de pelo menos um dos componentes apresentados, o fogo não se inicia, ou se estiver aceso, se apaga (SIMIANO; BAUMEL, 2013).

O sistema brasileiro de prevenção e combate ao incêndio só veio propor mudanças após uma sequência de tragédias, sendo uma das principais o incêndio no Gran-Circo Norte Americano em Niterói no ano de 1961- representando assim o maior número de mortos, e o

incêndio no edifício Andraus em São Paulo no ano de 1972- sendo este o primeiro grande incêndio em prédios elevados-, e o incêndio no edifício Joelma em São Paulo no ano de 1974- onde várias pessoas se atiravam do alto do edifício. Em consequência dessas tragédias notou-se a necessidade de melhorar as normas vigentes do país. No ano de 1983, foi criada uma legislação estadual em São Paulo, o Decreto n.º20.811. Onde a última versão saiu em 2011 com 44 Instruções Técnicas que estabelece algumas exigências sobre compartimentação, separação entre edifícios, avaliação dos materiais, controle de fumaça, saídas de emergência, chuveiros automáticos, e a segurança das estruturas (SOUSA; SILVA, 2015).

Em 2001, a fim de definir um período de tempo para que as edificações garantissem a sobrevivência da edificação e principalmente para a garantia das vidas dos usuários, foi criada a NBR 14432:2001, Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos das edificações, definindo ou não a verificação de uma edificação para a situação de incêndio e também determinar um tempo mínimo de resistência ao fogo de elementos construtivos sob ação de um incêndio padrão (SOARES, 2014).

De acordo com Sousa e Silva (2015), a principal causa de óbito, em incêndios é a exposição à fumaça que acontece nos momentos iniciais do ocorrido, por essa razão, a proteção à vida depende da imediata desocupação do ambiente em chamas. A criação de medidas de proteção e combate a incêndio devem ser analisados pelo projetista em conjunto com o proprietário e leva em conta as condições específicas da obra, como o porte da edificação, número de pessoas, utilização e etc., necessários para a rápida desocupação do local incendiado.

Segundo Seito *et al.* (2008) não existem dois incêndios iguais, pois são vários os fatores que determinam seu início e desenvolvimento, entre eles:

- Forma geométrica e dimensões da sala ou local;
- Superfície específica dos materiais combustíveis envolvidos;
- Distribuição dos materiais combustíveis no local;
- Quantidade de material combustível incorporado ou temporário;
- Características de queima dos materiais envolvidos;
- Local do início do incêndio no ambiente;
- Condições climáticas (temperatura e umidade relativa);
- Aberturas de ventilação do ambiente;
- Aberturas entre ambientes para a propagação do incêndio;
- Projeto de edificações do ambiente e ou edifício;
- Medidas de prevenção contra incêndios existentes;

- Medidas de proteção contra incêndio instalado.

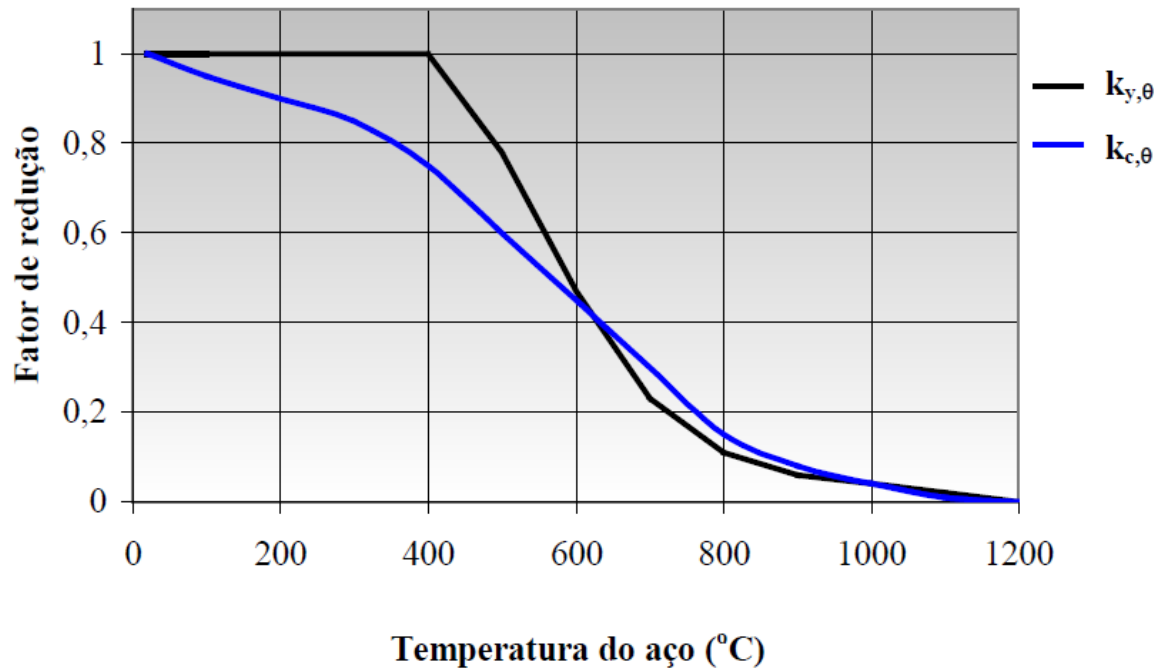
3.2.2 Comportamento do aço frente ao fogo

O aço quando submetido a elevadas temperaturas tem resistência e rigidez reduzida, assim como outros materiais estruturais. De forma geral, os elementos estruturais em aço têm uma redução de cerca de 50% de sua resistência mecânica quando submetidos a temperaturas superiores a 550°C, iniciando o processo de perda de instabilidade local e global. Como grande parte dos incêndios atinge essa temperatura, torna-se necessário a proteção da estrutura metálica das fontes de calor. Deve-se projetar os materiais estruturais levando-se em conta a redução da sua resistência a elevadas temperaturas (SOARES, 2014).

Para se garantir a segurança estrutural em situação de incêndio, deve-se evitar que a temperatura de colapso seja atingida. A temperatura que causa o colapso de um elemento estrutural, em situação de incêndio, é chamada de temperatura crítica, sendo essa intimamente relacionada ao carregamento aplicado ao elemento (PANNONI, 2007).

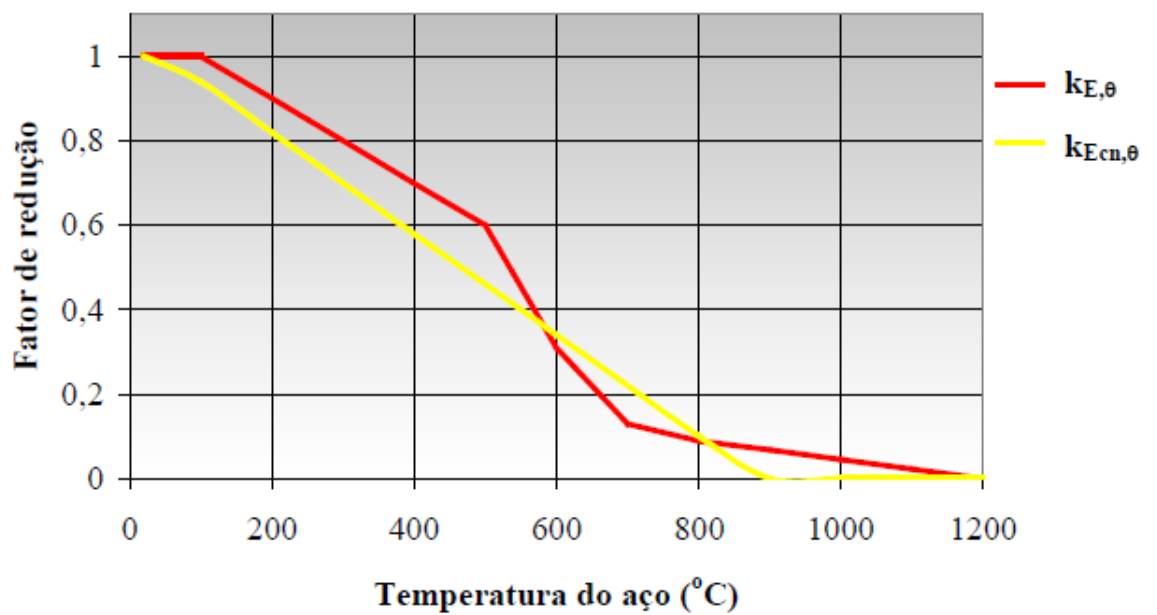
Segundo Soares (2014), a temperatura influencia na resistência e no módulo de elasticidade do aço e do concreto, onde pela Figura 3, pode-se observar que a taxa de perda de resistência de estruturas metálicas comparadas ao do concreto, sofrem uma diferenciação da perda de resistência devido possuírem fatores de redução pré-estabelecidos aos diferentes materiais definidos como k_{y^0} (fator de redução da resistência ao escoamento do aço) e k_{c^0} (fator de redução da resistência característica à compressão do concreto).

Figura 2 – Redução da resistência ao escoamento do aço e da resistência a compressão do concreto em função da temperatura.



Fonte: Mendes, 2004.

Figura 3 – Redução do módulo de elasticidade do aço e do concreto em função da temperatura.

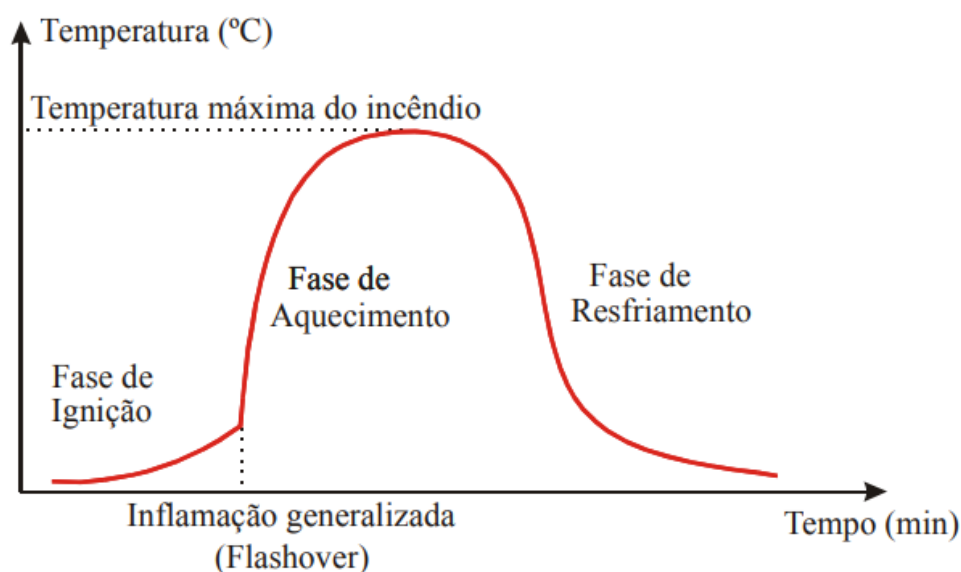


Fonte: Mendes, 2004.

3.2.3 Ações térmicas na estrutura decorrentes do incêndio

A principal característica de um incêndio, em relação ao estudo das estruturas é a curva que fornece a temperatura dos gases em função do tempo de incêndio, importante para a definição das ações térmicas decorrentes, mostrada na Figura 4.

Figura 4 – Curva temperatura-tempo de um incêndio



Fonte: Guimarães (2007).

Segundo Guimarães (2007), o incêndio apresenta três etapas:

- 1- Fase de ignição: nessa etapa ocorre um aumento gradativo da temperatura, onde o incêndio não se apresenta em grandes proporções. Se a edificação contar com medidas de proteção ativa eficiente, tais como detectores de calor e fumaça, brigada de incêndio, chuveiros automáticos, etc. É possível acabar com o incêndio ainda nessa fase, não sendo necessário a verificação adicional da estrutura.
- 2- Fase de Aquecimento: nessa fase acontece um brusco aumento da temperatura e o incêndio começa a ameaçar a vida humana e a integridade da edificação. Essa etapa, conhecida por “*flashover*”, acontece quando toda a carga combustível entra em ignição.
- 3- Fase de Resfriamento: nessa etapa toda a carga combustível é consumida pela combustão, os gases quentes passam por uma gradual diminuição da temperatura, de aproximadamente 80% do seu valor de pico.

3.3 DETERMINAÇÃO DO TEMPO REQUERIDO DE RESISTÊNCIA AO FOGO – TRRF

A NBR 14432/2001 determina condições de resistência ao fogo para cada elemento (laje, viga e pilar), tempo equivalente ou TRRF, fixando de 30 a 120 minutos, com intervalos de 30 minutos, que vai depender do tipo de ocupação da edificação, altura, área do pavimento, das medidas de proteção ativa, entre outros.

O TRRF pode ser entendido com o tempo mínimo (medido em minutos) em que os elementos construtivos devem resistir a ação térmica quando sujeitos ao incêndio-padrão. Esse tempo é utilizado apenas para fins de verificação de projeto ou de dimensionamento dos materiais de revestimento contra o fogo, pois trata-se de uma curva padronizada, e não de uma curva temperatura-tempo de incêndio (ANDRADE, 2010).

A determinação do TRRF é possível através de dois métodos: o método tabular e o método do tempo equivalente.

3.3.1 Método Tabular

A NBR 14432/2001, através da Tabela A.1 (ANEXO A), define o TRRF que deve ser considerado nos elementos construtivos de edificações. O método tabular determina de forma empírica o TRRF, frutos do consenso da sociedade (ANDRADE, 2010).

O Quadro 1 apresenta o TRRF pelo método tabular em função das características das edificações.

Quadro 1 – TRRF em função das características das edificações

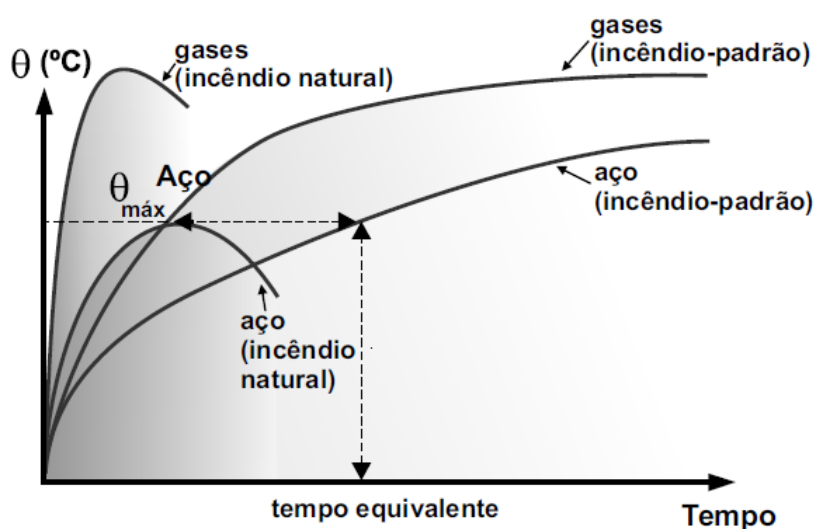
TRRF de algumas edificações					
Ocupação/Uso	Altura da edificação				
	$H \leq 6 \text{ m}$	$6 \text{ m} < H \leq 12 \text{ m}$	$12 \text{ m} < H \leq 23 \text{ m}$	$23 \text{ m} < H \leq 30 \text{ m}$	$H \leq 30 \text{ m}$
Residência	30	30	60	90	120
Hotel	30	60	60	90	120
Supermercado	60	60	60	90	120
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: NBR 14432/2001

3.3.2 Método do tempo equivalente

Segundo Andrade (2010), o método do tempo equivalente baseia-se em relacionar a máxima temperatura do aço, no incêndio natural, ao tempo associado a mesma temperatura na curva do incêndio-padrão. Na Figura 5 é apresentado um gráfico que mostra o método do tempo equivalente.

Figura 5 – Método do tempo equivalente.



Fonte: Silva e Vargas, 2003.

Nesse método do tempo equivalente observa-se na Figura 5 que a curva temperatura-tempo do incêndio padrão tem crescimento contínuo. Porém, no incêndio real, a temperatura dos gases e do aço alcançam um valor máximo caindo, em seguida, gradativamente (ANDRADE, 2010).

Por meio do tempo equivalente, previamente calculado, é definida, a curva do incêndio padrão, a temperatura do aço que corresponderá à sua máxima temperatura no incêndio real. Após calculada essa temperatura, pode ser dimensionada a estrutura em situação de incêndio. O TRRF não representa o tempo real de duração do incêndio ou desocupação do edifício ou tempo de chegada dos bombeiros (SOARES, 2014).

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 da edificação (SILVA, 2003).

Diferentemente do método tabula, onde 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 estabelecido por meio de

um consenso da sociedade em função do uso da edificação e das suas dimensões baseadas nas normas (SOARES, 2014).

3.3.3 Edificações isentas de verificação estrutural em incêndio

Existem edificações que são isentas, ou seja, que não necessita da utilização de métodos para que ocorra o dimensionamento da resistência ao fogo dos componentes que fazem parte da estrutura (SOARES, 2014).

Quadro 2 – Exemplos de edificações isentas de verificação de resistência ao fogo segundo a NBR 14432/2001

Área	Uso	Carga de incêndio específica	Altura	Meios de proteção
$\leq 750 \text{ m}^2$	Qualquer	Qualquer	Qualquer	-
$\leq 1500 \text{ m}^2$	Qualquer	$\leq 1000 \text{ MJ/ m}^2$	$\leq 2 \text{ pav.}$	-
Qualquer	Centros esportivos/ Terminais	Qualquer	$\leq 23 \text{ m}$	-
Qualquer	Garagens abertas	Qualquer	$\leq 30 \text{ m}$	-
Qualquer	Depósitos	Baixa	$\leq 30 \text{ m}$	-
Qualquer	Qualquer	$\leq 500 \text{ MJ/ m}^2$	Térrea	-
Qualquer	Industrial	$\leq 1200 \text{ MJ/ m}^2$	Térrea	-
Qualquer	Depósitos	$\leq 2000 \text{ MJ/ m}^2$	Térrea	-
Qualquer	Qualquer	Qualquer	Térrea	Chuveiros Automáticos
$\leq 5000 \text{ m}^2$	Qualquer	Qualquer	Térrea	Fachadas de aproximação

Fonte: NBR 14432,2001.

As edificações isentas, devem existir medidas de proteção passiva e ativa como, revestimentos térmicos adequados, presentes nas normas brasileiras em vigor e de regulamentos de órgãos públicos (SOARES, 2014).

Por outro lado, as isenções não se aplicam a edificações da qual os ocupantes tenham restrição de mobilidade, como no caso de hospitais, asilos e penitenciárias (SILVA,2003).

3.4 NORMAS

Busca-se conhecer a exigência de resistência ao fogo para cada tipo de elemento (viga, pilar, laje), para que se possa verificar a segurança estrutural em situação de incêndio dos elementos estruturais de aço de uma edificação, conforme as normas vigentes no país. As

Normas Brasileiras que tratam da segurança estrutural frente ao fogo foram aprovadas em 1999: NBR 14432 “Exigências de Resistência ao Fogo de Elementos Construtivos de Edificações – Procedimento” e NBR 14323 “Dimensionamento de Estruturas de Aço de Edifícios em Situação de Incêndio – Procedimento”. O desempenho requerido para os elementos de construção estrutural (concreto, madeira ou aço) ou de compartimentação prescritos na NBR 14432 trata-se da prevenção do colapso estrutural da edificação, tornando possível a retirada dos ocupantes, de diminuir os danos às propriedades vizinhas e possibilitar o rápido acesso do Corpo de Bombeiros (PANNONI, 2007).

3.4.1 NBR 8800/2008 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios

A NBR 8800/2008 define os princípios gerais que são utilizados a fim de determinar projetos à temperatura ambiente acerca do dimensionamento de estruturas metálicas diversas, como coberturas, vigas e pilares bem como estruturas mistas, que contém tanto aço como concreto em sua formulação.

3.4.1.1 Dimensionamento a Flexão

No dimensionamento das barras submetidas a momento fletor, devem ser atendidas a seguinte condição:

$$MSd \leq MRd \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

MSd é o momento fletor solicitante de calculo

MRd é o momento fletor resistente de calculo

A classificação da esbeltez é dada pela relação entre altura da alma e sua espessura.

$$\lambda = \frac{hw}{tw} \quad (\text{Eq. 2})$$

Para ser classificado como esbelto, a seção deve possuir esbeltez maior que:

$$\lambda_{r, fi} = 4,84 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (\text{Eq. 3})$$

3.4.1.1.1 Momento fletor resistente de cálculo para vigas de alma não-esbelta

3.4.1.1.1.1 Flambagem local da mesa – FLM

$$\lambda = \frac{b_o}{2 t_o} \quad (\text{Eq. 4})$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (\text{Eq. 5})$$

Para perfil laminado:

$$\lambda_r = 0,83 \sqrt{\frac{E}{0,7 f_y}} \quad (\text{Eq. 6})$$

Para perfil soldado:

$$\lambda_r = 0,95 \sqrt{\frac{K_c \cdot E}{0,7 f_y}} \quad (\text{Eq. 7})$$

$$\text{SE } \lambda \leq \lambda_{p, fi} \quad M_{fi, Rd} = K \cdot K_y \theta \cdot M_{pl} \quad (\text{Eq. 8})$$

$$\text{SE } \lambda_{p, fi} < \lambda \leq \lambda_{r, fi} \quad M_{fi, Rd} = K \cdot K_y \theta \cdot M_y \quad (\text{Eq. 9})$$

$$\text{SE } \lambda > \lambda_{r, fi} \quad M_{fi, Rd} = K \cdot K_y \theta \cdot M_y \quad (\text{Eq. 10})$$

Onde:

M_{pl} é o momento de plastificação total, igual a $Z \cdot f_y$

M_r é o momento resistente nominal, igual a $W \cdot f_y$

3.4.1.1.1.2 Flambagem local da alma – FLA

$$\lambda = \frac{h_o}{t_o} \quad (\text{Eq. 11})$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (\text{Eq. 12})$$

$$\lambda_r = 5,7 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (\text{Eq. 13})$$

$$\text{SE } \lambda \leq \lambda_p \quad M_{fi, Rd} = K \cdot K_y \theta \cdot M_{pl} \quad (\text{Eq. 14})$$

$$\text{SE } \lambda_p < \lambda \leq \lambda_r \quad M_{fi, Rd} = K \cdot K_y \theta \cdot M_y \quad (\text{Eq. 15})$$

$$\text{SE } \lambda > \lambda_r \quad M_{fi, Rd} = K \cdot K_y \theta \cdot M_y \quad (\text{Eq. 16})$$

3.4.1.1.2 Momento fletor resistente de cálculo para vigas de alma esbelta

3.4.1.1.2.1 Flambagem local da mesa – FLM

$$\lambda = \frac{b_o}{2 t_o} \quad (\text{Eq. 17})$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (\text{Eq. 18})$$

$$\lambda_r = 0,95 \sqrt{\frac{K_c \cdot E}{0,7 f_y}} \quad (\text{Eq. 19})$$

$$\text{SE } \lambda \leq \lambda_p \quad M_{fi, Rd} = \frac{K_{pg} \cdot W_{xc} \cdot f_y}{\gamma_{a1}} \quad (\text{Eq. 20})$$

$$\text{SE } \lambda_p < \lambda \leq \lambda_r \quad M_{fi, Rd} = \frac{K_{pg}}{\gamma_{a1}} \cdot \left[1 - 0,3 \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \right] \cdot W_x \cdot f_y \quad (\text{Eq. 21})$$

$$\text{SE } \lambda > \lambda_r \quad M_{fi, Rd} = \frac{0,9 \cdot K_{pg} \cdot E \cdot K_c \cdot W_x}{\gamma_{a1} \cdot \lambda^2} \quad (\text{Eq. 22})$$

3.4.1.1.2.2 Flambagem local da alma – FLA

$$M_{Rd} = \frac{W_x \cdot f_y}{\gamma_{a1}} \quad (\text{Eq. 23})$$

3.4.2 NBR 14432/2001 – Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento

A NBR 14432/2001 estabelece as condições a serem atendidas pelos elementos estruturais e de compartimentação que fazem parte da edificação para que seja evitado o colapso estrutural em situação de incêndio. Os elementos estruturais devem atender requisitos de estanqueidade e isolamento por um tempo suficiente para possibilitar:

- Fuga dos ocupantes da edificação em condições de segurança;
- Segurança das operações de combate ao incêndio;

- Minimização de danos a edificações adjacentes e à infraestrutura pública.

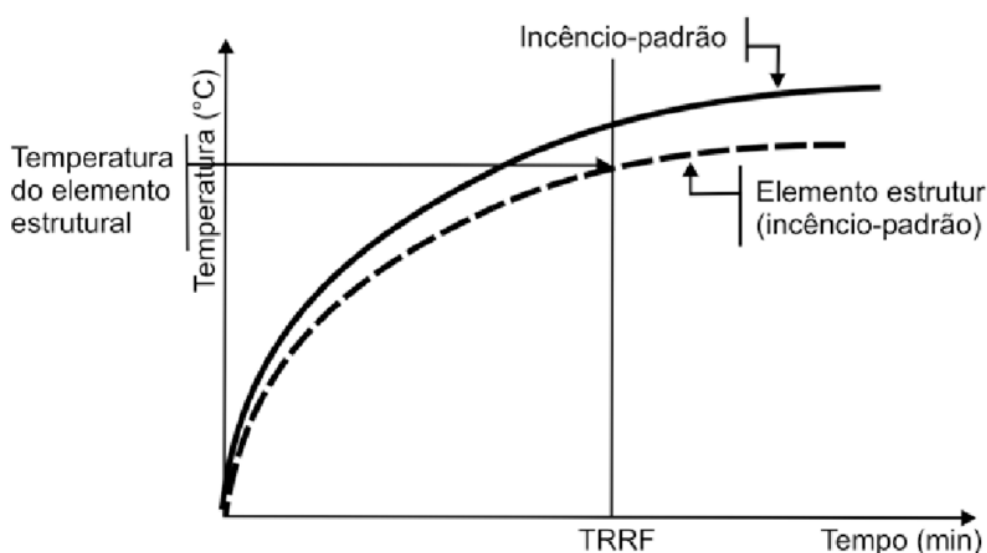
Para a determinação do intervalo de tempo necessário para a estrutura suportar as cargas extras ocasionadas devido à elevação da temperatura ambiente, foram determinadas curvas que relacionam a temperatura do elemento estrutural com o tempo necessário para que ocorra a sobrecarga da edificação em situação de incêndio.

A curva relaciona-se com os incêndios, porém eles são fenômenos que dependem de um grande número de parâmetros, o que os torna essencialmente aleatórios. E graças a diversidade de fatores que podem influenciar na curva de incêndios reais, convencionou-se a adoção de curvas de incêndio padronizadas para servir como modelo para análises experimentais, utilizadas em estudos onde não haja parâmetros precisos relativos às temperaturas envolvidas.

Esta curva é adotada para determinar, em ensaios, o comportamento de elementos construtivos ao fogo e é denominada de incêndio-padrão. Sua principal característica é possuir apenas um ramo ascendente, ou seja, a temperatura dos gases é sempre crescente com o tempo e, além disso, independente das características do ambiente e da carga de incêndio (SILVA *et al*, 2006).

A Figura 6 mostra no eixo das abcissas o TRRF, definido pela norma como o tempo mínimo de resistência ao fogo, de um elemento construtivo quando sujeito ao incêndio-padrão.

Figura 6 – Curva de Incêndio-padrão.



Fonte: Azevedo, Murakami e Silva (2007).

A equação que define a elevação padronizada de temperatura em função do tempo, dada pela seguinte expressão:

$$\theta_g = \theta_0 + 345 \log(8t + 1) \quad (\text{Eq. 24})$$

Onde:

t é o tempo, em minutos;

θ_0 é a temperatura do ambiente antes do início do aquecimento, em graus Celsius, geralmente tomada igual a 20°C;

θ_g é a temperatura dos gases, em graus Celsius, no instante t .

3.4.3 NBR 14323/2013 – Dimensionamento de estruturas de aço e de estruturas mistas aço-concreto de edifícios em situação de incêndio

A NBR 14323/2013 tem por base o método dos estados limites, que fixa as condições exigíveis para o dimensionamento em situação de incêndio de estruturas de aço e de estruturas mistas aço-concreto de edifícios. Essa norma prevê no dimensionamento, a utilização de proteções térmicas, a fim de promover um período de tempo maior à estrutura frente a incêndio.

O dimensionamento em situação de incêndio consiste na verificação da estrutura, com ou sem proteção contra incêndio, a fim de se evitar o seu colapso em condições que dificultem a fuga dos usuários da edificação e a aproximação de pessoas e equipamentos para as ações de combate ao fogo (NBR 14323, 2013).

Esta Norma se aplica a edifícios destinados à habitação, aos usos comercial e industrial e a edifícios públicos. Onde é prescrito 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 (NBR 14323, 2013).

De acordo com a NBR 14323/2013, as combinações de ações para os estados limites últimos em situação de incêndio devem ser consideradas como combinações últimas excepcionais e obtidas de acordo com a NBR 8681/2004. Na qual, deve-se considerar que as ações transitórias excepcionais, ou sejam, aquelas decorrentes da elevação da temperatura na estrutura em virtude do incêndio, têm um tempo de atuação muito baixo. Logo, as combinações de ações podem ser expressas por três formas:

- Em locais em que não há predominância de pesos de equipamentos que permaneçam fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas (por exemplo, edificações residenciais, de acesso restrito):

$$\sum_{i=1}^n \gamma_{gi} F_{Gi,k} + F_{Q,exc} + 0,21 F_{Gk} \quad (\text{Eq. 25})$$

- Em locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permaneçam fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas (por exemplo, edificações comerciais, de escritórios e de acesso público):

$$\sum_{i=1}^n \gamma_{gi} F_{Gi,k} + F_{Q,exc} + 0,28 F_{Gk} \quad (\text{Eq. 26})$$

- Em bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens:

$$\sum_{i=1}^n \gamma_{gi} F_{Gi,k} + F_{Q,exc} + 0,42 F_{Gk} \quad (\text{Eq. 27})$$

Onde: $F_{Gi,k}$ é o valor característico das ações permanentes diretas;

$F_{Q,exc}$ é o valor característico das ações térmicas decorrentes do incêndio;

F_{Gk} é o valor característico das ações variáveis decorrentes do uso e ocupação da edificação;

γ_g é o valor do coeficiente de ponderação para as ações permanentes diretas, igual a 1,0 para ações permanentes favoráveis e dado pela Figura 7 ou, opcionalmente, pela Figura 8 para ações permanentes desfavoráveis.

Figura 7 – Coeficientes γ_g para ações permanentes diretas consideradas separadamente.

Peso próprio de estruturas metálicas	1,10
Peso próprio de estruturas pré-moldadas	1,15
Peso próprio de estruturas moldadas no local	1,15
Elementos construtivos industrializados ¹⁾	1,15
Elementos construtivos industrializados com adições “in loco”	1,20
Elementos construtivos em geral e equipamentos ²⁾	1,30
¹⁾ Por exemplo: paredes e fachadas pré-moldadas, gesso acartonado.	
²⁾ Por exemplo: paredes de alvenaria e seus revestimentos, contrapisos.	

Fonte: NBR 14323,2013.

Figura 8 – Coeficientes γ_g para ações permanentes diretas agrupadas.

Edificações onde as ações variáveis decorrentes do uso e ocupação superam 5 kN/m ²	1,15
Edificação onde as ações variáveis decorrentes do uso e ocupação não superam 5 kN/m ²	1,20

Fonte: NBR 14323, 2013.

Determinados parâmetros utilizados para o dimensionamento das peças comprimidas em situação de incêndio possuem as mesmas características das apresentadas pelas peças sujeitas à temperatura ambiente, segundo a norma NBR 8800/2008. Outros parâmetros são acrescentados, como podemos ver na equação para o cálculo da força resistente de projeto a seguir, onde pode ser definida seguindo dois critérios:

- Perfis sujeitos a flambagem local:

$$\lambda_{p,fi} = 0,85 \cdot \lambda_p \quad (\text{Eq. 28})$$

$$\lambda_{r,fi} = 0,85 \cdot \lambda_r \quad (\text{Eq. 29})$$

O valor de 0,85 é utilizado devido a um acréscimo do limite de esbeltez (calculado segundo a NBR 8800/2008) em temperaturas elevadas.

É necessária que sua temperatura seja inferior a temperatura crítica para que o elemento estrutural de aço não sofra o colapso durante a ação térmica. Este critério é denominado de verificação no domínio da temperatura. Dessa maneira, em situação de incêndio a segurança das estruturas é satisfeita quando, a temperatura atuante nos elementos estruturais de aço é inferior a temperatura crítica (VIEIRA *et al*, 2016).

A seguinte condição representa a verificação da segurança através da análise da temperatura.

$$\theta_a \leq \theta_{cr}$$

Onde:

θ_a é a temperatura do aço;

θ_{cr} é a temperatura crítica.

A temperatura crítica é encontrada através da seguinte fórmula:

$$\theta_{cr} = \theta_2 - (k_{\sigma,cr} - k_{\sigma,\theta_2}) \frac{\theta_2 - \theta_1}{k_{\sigma,\theta_1} - k_{\sigma,\theta_2}} \quad (\text{Eq. 30})$$

Onde:

θ_1 é a temperatura menor no intervalo encontrado;

θ_2 é a temperatura maior no intervalo;

K_{σ, θ_1} é o fator de redução referente a temperatura menos elevada;

$K_{\sigma, \theta}$ é o fator de redução referente a temperatura mais elevada.

Para a determinação dos intervalos entre as temperaturas necessárias para o cálculo da temperatura crítica, têm-se os valores dos fatores de redução apresentado na Figura 9:

Figura 9 – Fatores de redução para o aço.

Temperatura do aço θ_a (°C)	Fator de redução para a resistência ao escoamento dos aços laminados $k_{y,\theta}$	Fator de redução para a resistência ao escoamento dos aços trefilados $k_{y0,\theta}$	Fator de redução para o módulo de elasticidade dos aços laminados $k_{E,\theta}$	Fator de redução para o módulo de elasticidade dos aços trefilados $k_{E0,\theta}$
20	1,000	1,000	1,0000	1,000
100	1,000	1,000	1,0000	1,000
200	1,000	1,000	0,9000	0,870
300	1,000	1,000	0,8000	0,720
400	1,000	0,940	0,7000	0,560
500	0,780	0,670	0,6000	0,400
600	0,470	0,400	0,3100	0,240
700	0,230	0,120	0,1300	0,080
800	0,110	0,110	0,0900	0,060
900	0,060	0,080	0,0675	0,050
1000	0,040	0,050	0,0450	0,030
1100	0,020	0,030	0,0225	0,020
1200	0,000	0,000	0,0000	0,000

Nota: Para valores intermediários da temperatura do aço pode ser feita interpolação linear

Fonte: NBR 14323, 2013.

A determinação da temperatura do aço em situações de incêndio é dada da seguinte forma:

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} \frac{(u / A_g)}{c_a \rho_a} \varphi \Delta t \quad (\text{Eq. 31})$$

Onde:

k_{sh} é o fator de correção para efeitos de sombreamento;

u/A_g é o fator de massividade para elementos estruturais de aço sem revestimento contra o fogo;

u é o perímetro exposto ao incêndio do elemento estrutural de aço;

A_g é a área bruta da seção transversal do elemento estrutural de aço;

ρ_a é a massa específica do aço;

c_a é o calor específico do aço;

φ é o fluxo de calor por unidade de área;

Δt é o intervalo de tempo.

O fator de correção para sombreamento visto na equação anterior possui especificidades quanto ao valor utilizado para a determinação dos cálculos. Ele é caracterizado por atuar em perfis côncavos, em seções transversais H ou I, sendo causado pela obstrução local da radiação térmica devido o formato do perfil do aço, como pode ser visto na Figura 10:

Figura 10 – Efeito de sombreamento.



Fonte: NBR 14323, 2013.

A equação utilizada para o cálculo desse fator está presente a seguir:

$$k_{sh} = 0,9 \frac{(u/Ag)_b}{(u/Ag)} \quad (\text{Eq. 32})$$

Onde: $(u/Ag)b$ é o valor do fator de massividade, definido como a relação entre o perímetro exposto ao incêndio de uma caixa hipotética que envolve o perfil e a área da seção transversal do perfil;

(u/Ag) é o fator de massividade para elementos estruturais de aço sem revestimento contra o fogo.

Caso as condições de tempo, temperatura ou resistência não sejam atendidos, é indicado a aplicação nos elementos estruturais algum tipo de revestimento. Logo após a aplicação, deve-se verificar novamente os critérios exigidos pela norma, como é indicado a seguir:

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{\lambda_m (u_m / A_g) (\theta_{g,t} - \theta_{a,t}) \Delta t}{t_m \rho_a c_a} \frac{1}{1 + (\xi / 4)} - \frac{\Delta\theta_{g,t}}{(4 / \xi) + 1} \quad (\text{Eq. 33})$$

Onde:

u_m/A_g é o fator de massividade para elementos estruturais envolvidos por material de revestimento contra fogo

u_m é o perímetro efetivo do material de revestimento contra fogo;

c_m é o calor específico do material de revestimento contra fogo;

t_m é a espessura do material de revestimento contra fogo;

$\theta_{a,t}$ é a temperatura no aço, no tempo t;

$\theta_{g,t}$ é a temperatura dos gases, no tempo t;

ρ_m é a massa específica do material de revestimento contra fogo;

λ_m é a condutividade térmica do material de revestimento contra fogo;

3.5 MATERIAIS DE REVESTIMENTO TÉRMICO CONTRA INCÊNDIO

A proteção térmica das estruturais de aço (proteção passiva) é o meio mais comum de se proteger o aço do fogo. Muitos são os materiais utilizados com esta intenção, tais como as argamassas projetadas, tintas intumescentes, mantas cerâmicas ou de lã de rocha basáltica, gesso acartonado e outros (PANNONI, 2007).

No Quadro 03 serão mostradas comparações entre elas:

Quadro 3 – Comparativo entre as três principais soluções de proteção para Estrutura metálica

	PLACA DE GESSO	ARGAMASSA PROJETADA
Vantagens	- Instalação limpa - TRRF até 120 minutos	- Baixo custo - Resistência Térmica e acústica -TRRF até 240 minutos
Desvantagens	- Esconde a estrutura metálica - Sem flexibilidade para acompanhar as estruturas - Demora para instalação das placas - Espessuras muito elevadas, necessitando em alguns casos, redimensionamento das cargas estruturais.	- Fragilidade ao contato físico - Aplicação gera muita sujeira - Dificuldade em manter as mesmas espessuras - Aparência não agradável - Requer mais espaço

Fonte: CKC Fire protection, 2015.

3.5.1 Argamassa projetada

As argamassas projetadas recebem esse nome por serem aplicadas através de jateamento. São materiais econômicos, no entanto, não apresentam bom acabamento, fornecendo um aspecto de chapisco. Os materiais projetados foram elaborados especificamente para proteção passiva das estruturas (MENDES,2004).

Figura 11– Aplicação de argamassa projetada.



Fonte: Mendes, 2004

Estes produtos apresentam alto conteúdo de aglomerantes que, quando misturados com água, geram um material fluido que permite ser bombeada. São caracterizados como produtos de baixa, média ou alta densidade, e são constituídos essencialmente de gesso (aproximadamente 80% do peso seco), cimento Portland (em materiais de média e alta densidade), resinas acrílicas e cargas inertes, tais como poliestireno expandido, celulose e preservantes (PANNONI, 2007).

São materiais que, de um modo geral, para sua aplicação, não necessitam da retirada da carepa de laminação e de alguma ferrugem formada. Antes da projeção, faz-se uma limpeza manual, removendo o material solto sobre a superfície (PANNONI, 2007).

Quadro 4 – Vantagens e Desvantagens das argamassas projetadas.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Menor custo dentre os materiais de proteção.	Aspecto visual rústico.
Maior velocidade de aplicação, gerando maior produtividade.	Baixa resistência a impactos mecânicos.
Dispensa a necessidade de tratamento superficial e primer.	Não deve permanecer exposto à intempéries.
Durabilidade equivalente à vida total da edificação.	Dificuldade na pintura.
	30 dias para a sua completa secagem.

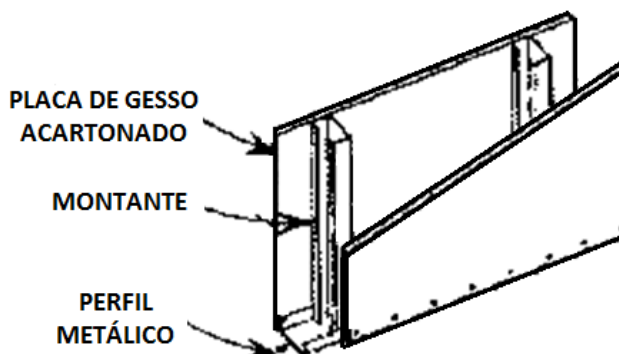
Fonte: Dias, 2002.

As ligações químicas existentes no gesso hidratado começam a se romper, quando a temperatura ambiente atinge 90°C – 150°C, liberando água de hidratação. A proteção é resultado de fatores também relacionados com a massa do produto e seu índice de vazios. Esta reação absorve a energia do fogo, que seria transmitido ao aço. Este processo possibilita o aço de manter uma temperatura relativamente baixa por 20 a 30 minutos durante a primeira hora crítica do incêndio. A mesma consideração é aplicada para placas de gesso acartonado (PANNONI, 2007).

3.5.2 Placa de gesso acartonada

São placas parecidas com as placas de gesso convencional, no entanto apresentam fibras de vidro e vermiculita na sua composição, assegurando características específicas para a proteção contra incêndio (MENDES, 2004).

Figura 12– Placa de gesso acartonado



Fonte: Pannoni, 2007.

Quando comparados as placas convencionais *dry-wall*, seu custo é superior, porém, com acabamento excelente, idêntico as *dry-wall*, sendo uma solução adequadas em situações que precisam de um bom acabamento, melhorando ainda o isolamento acústico e podendo trabalhar como paredes de compartimentação corta-fogo (MENDES, 2004).

Devido a presença de gesso em sua composição, as placas não podem permanecer expostos às intempéries. Possuem condutividade térmica de 0,15 W/m.K e calor específico de 1200J/kg°C.

O Quadro 5 apresenta algumas vantagens e desvantagens das placas de gesso.

Quadro 5 – 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

3.5.3 Espessuras dos materiais para proteção.

Através da NBR 14323/2013 é possível determinar analítica e aproximadamente a espessura do material de proteção fazendo uso do equacionamento para obtenção da temperatura do aço revestido com material de proteção passiva, como já apresentado. Por meio destas equações é possível criar uma planilha para a determinação da temperatura do aço. Com

essa planilha, e conhecendo o TRRF da edificação, é possível determinar a espessura necessária de material de proteção para cada elemento estrutural (MENDES, 2004).

Além disso, os fabricantes destes produtos apresentam catálogos técnicos que fornecem a espessura necessária para a proteção passiva. Estes catálogos são chamados de Cartas de Cobertura, podendo variar de acordo com o material escolhido e dos procedimentos realizados pelos fabricantes (MENDES, 2004).

O Quadro 7 apresenta os valores das espessuras das argamassas e placas de gesso de forma simplificada, estando presente os valores mínimos e máximos que podem ser aplicados segundo a literatura.

Quadro 6 – Espessura dos materiais de proteção

Materiais	Espessura mínima (mm)	Espessura máxima (mm)
Argamassa Projetada	10	50
Placa de Gesso	25	100

Fonte: Mendes, 2004.

3.6 OTIMIZAÇÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS

3.6.1 Definição

Os problemas de engenharia estão normalmente associados a um grande número de variáveis de projeto, que devem ser especificadas visando a obtenção de um produto eficiente e seguro, com custos mínimos de fabricação. Em muitos casos a análise destes parâmetros recorre a técnicas tradicionais como a tentativa e erro, ou ainda conta exclusivamente com a experiência observada em projetos anteriores. Estas abordagens acabam restringindo as soluções adotadas para um pequeno conjunto de configurações e que dificilmente conseguirão aperfeiçoar simultaneamente todos os objetivos envolvidos no problema. Percebe-se assim a necessidade de uma metodologia científica na determinação de soluções ótimas, que auxilie projetistas e engenheiros na exploração eficiente do domínio de projeto (FERRAZ, 2008).

Os algoritmos de otimização se enquadram nesta categoria, introduzindo estratégias numéricas na busca por soluções ótimas de engenharia. Isso induz a utilização do *software* em problemas envolvendo aplicações reais de engenharia, uma vez que todas as ferramentas utilizadas na avaliação do projeto podem ser inseridas no estudo de otimização, sejam elas ferramentas comerciais (*ANSYS, Fluent, CFX, Excel, Mathcad*) ou até mesmo ferramentas desenvolvidas na própria empresa (FERRAZ, 2008).

3.6.2 Utilização do *Excel* como *Software* otimizador

Como forma de otimizar processos ou materiais que possam influir no custo final de projetos em geral, métodos avançados são utilizados para esse determinado fim. Um deles refere-se à programação de problemas em *softwares* diversos, sendo resolvidos de forma linear ou não linear.

A Programação Linear (PL) pode ser aplicada nas mais diferentes áreas, caracterizada pela maximização ou minimização de alguma combinação de variáveis. Problemas de programação linear são resolvidos com a ajuda de computadores, mais precisamente, com a utilização de *softwares*, e dentre os existentes destaca-se o *Solver*, devido à facilidade de utilização e por estar disponível a todos os usuários do *Excel*. Além disso, o *Excel* é uma poderosa ferramenta capaz de realizar cálculos e sistematizar dados, que vai além de construir planilhas de controle de despesas domésticas ou relatórios sobre um projeto, possibilitando assim integrar e automatizar sistemas inteiros de gerenciamento de empresas e indústrias, sendo eficaz no desenvolvimento de aplicações. Pode-se trabalhar com um grupo de células relacionadas direta ou indiretamente com a fórmula na célula destino, ajustando os valores nas células variáveis a serem especificadas. Pode-se aplicar restrições para valores que o *Solver* poderá usar no modelo, e as restrições podem se referir às outras células que afetem a fórmula da célula destino (ROCHA NETO e ZANELLA, 2007).

A proposta inicial seria a utilização do método evolucionário pelo *Solver* para a otimização do problema em questão, devido possuir natureza discreta. Porém a não linearidade e a exigência da aplicação de métodos iterativos ocasionou na adoção de planilhas criadas no próprio *Excel*, para que fosse possível a continuidade da otimização mesmo sem a adoção de métodos numéricos para a pesquisa.

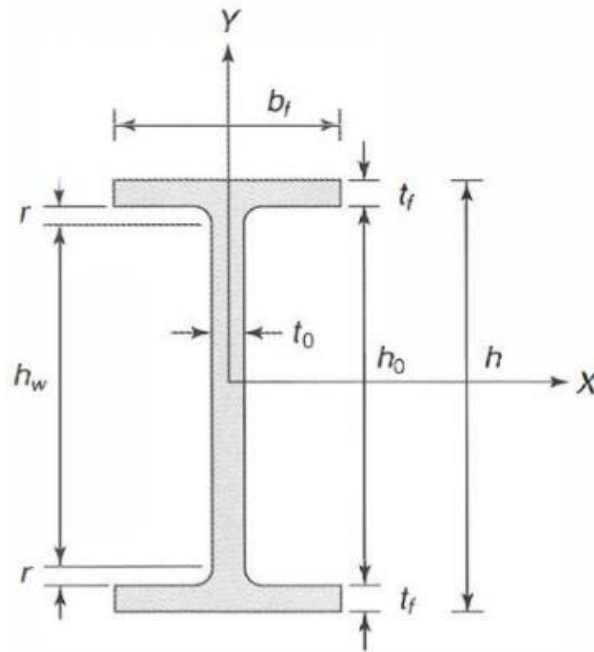
4 METODOLOGIA DO TRABALHO

4.1 PERFIS UTILIZADOS

O perfil em I foi utilizado para análise e dimensionamento da proteção contra incêndio, pois sua geometria permite alcançar elevada resistência mecânica com peso reduzido. Podendo ser escolhido tanto o perfil I soldado, quanto o perfil I laminado.

As características da seção, tais como dimensões e propriedades geométricas estão expostos no Anexo A desse trabalho. Já na Figura 13, é exemplificado as características geométricas do Perfil I.

Figura 13– Características geométricas do Perfil I.



Fonte: Sobrinho, 2016.

Onde:

h é a altura externa do perfil

h_0 é a altura livre da alma

h é a altura interna

b_f é a largura da aba

t_f é a espessura da aba

t_0 é a espessura da alma

r é o raio da concordância

4.2 PLANILHA UTILIZADA

A planilha desenvolvida no *software Excel* tem como finalidade a determinação da temperatura do aço quando submetido ao fogo, por meio da obtenção do TRRF, logo após comparar está com a temperatura crítica do aço. Se a temperatura do aço, de acordo com as condições pré-determinadas nos dados de entrada e na escolha do TRRF for menor que a temperatura resistente do aço encontrada, o perfil não necessitará de proteção. Caso contrário, onde a temperatura do aço seja menor que a crítica, o aço precisará de um material para proteção, podendo ser argamassa projetada ou placa de gesso, e sua escolha se dará no início da planilha, já a espessura será obtida no final da planilha de acordo com o material escolhido.

A planilha conta com diversas formulações inseridas no programa, como forma de automatiza-la e torna-la mais eficiente para o dimensionamento de edificações frente ao fogo, a fim de evitar desastres.

Para serem feitos os cálculos de dimensionamento, faz-se necessário o fornecimento de alguns dados de entrada, tais como o momento solicitante, tipo de aço, comprimento da viga, tipo de perfil, altura do perfil, número de pavimentos, tipo de ocupação, módulo de elasticidade e o tipo de revestimento, como mostrado na Figura 14.

Figura 14– Dados de entrada

DADOS DE ENTRADA DO PERFIL

Momento Solicitante (Msd):	200,00 kNm
Tipo do aço:	MR250
Comprimento da Viga (l):	3,00 m
Tipo de Perfil:	W 410 x 60,0
Classificação do perfil	Laminado
Altura do pavimento:	3,00 m
Número de pavimentos:	2
Altura da Edificação (hed):	3,00 m
Tipo:	1
Ocupação/Uso:	Residencial
TRRF:	30 min
Módulo de elasticidade (E):	200000,00 MPa
Tipo de revestimento:	Argamassa Projetada

Legenda

Classificação da Altura da Edificação

	1	2	3	4	5
Uso	$h \leq 6 \text{ m}$	$6 \text{ m} < h \leq 12 \text{ m}$	$12 \text{ m} < h \leq 23 \text{ m}$	$23 \text{ m} < h \leq 30 \text{ m}$	$h > 30 \text{ m}$

OBSERVAÇÃO: Para a utilização de argamassa projetada, o valor mínimo para sua espessura é de 10 mm e o máximo é de 50 mm. Para a utilização de Placas de Gesso, o valor mínimo é de 25 mm e o máximo é de 100 mm.

Fonte: Autoria própria, 2019.

Após a obtenção dos dados de entrada, através de análises condicionais, a planilha retorna como dados de saída (Figura 15) o valor da temperatura do aço e a temperatura crítica

de acordo com o TRRF, estando estas inicialmente sem proteção. Caso esta condição anterior não seja satisfeita, é feito o cálculo para o perfil agora revestido com o material já escolhido.

Figura 15– Dados de saída

DADOS DE SAÍDA		
Verificação do Perfil sem revestimento:		
$\theta_{cr} =$	564,77 °C	
$\theta_a =$	832,05 °C	
θ_a	>	θ_{cr}
O PERFIL NECESSITA DE PROTEÇÃO		
Verificação do Perfil com revestimento:		
$\theta_{cr} =$	564,77 °C	
$\theta_a =$	451,07 °C	
<u>Tipo de Material:</u>	Argamassa Projetada	Espessura: 10,00 mm

Fonte: Autoria própria, 2019.

No final (Figura 15), tem-se o resultado da temperatura crítica, da temperatura no perfil com proteção e da espessura ótima necessária para atender a temperatura crítica.

Os tipos de materiais utilizados como revestimento utilizado nesse trabalho foram Argamassa Projetada e Placa de Gesso.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados serão divididos em quatro aplicações. Na primeira aplicação ocorrerá a validação da planilha em *Excel*, onde serão mantidas fixas a carga solicitante e o TRRF para fazer uma comparação entre perfis metálicos laminados presentes no banco de dados do programa, verificando a utilização ou não das proteções. Na segunda aplicação, será feita uma análise com a utilização de argamassa projetada e da placa de gesso como material para proteção, sendo mantidos fixos o TRRF e o perfil para as duas análises, em seguida será realizado um aumento na carga solicitante. Na terceira aplicação, será feita uma análise na relação entre o TRRF e a temperatura do aço, onde será mantido fixo os demais parâmetros. Na quarta aplicação, será feita uma análise entre os perfis laminados e soldados, onde serão comparados os menores perfis do bando de dados, sendo os perfis laminados W 150 x 13,0 e o soldado CS 150 x 25. Em seguida, serão comparados os maiores perfis do bando de dados, sendo estes o perfil laminado W 610 x 174,0 e o soldado CS 600 x 250,0, mantendo fixos as cargas solicitantes e o TRRF.

5.1 PRIMEIRA APLICAÇÃO

Nesta aplicação será realizado a validação da planilha em *Excel*, onde será mantido fixo a carga solicitante de 150 kNm para um perfil laminado, e TRRF de 30 min. Já os perfis serão variados. Inicialmente será adotado o perfil com maior rigidez disponível, outro com uma menor rigidez, até chegar no perfil de menor rigidez, para então ser verificado a relação entre a rigidez e a espessura de proteção necessária.

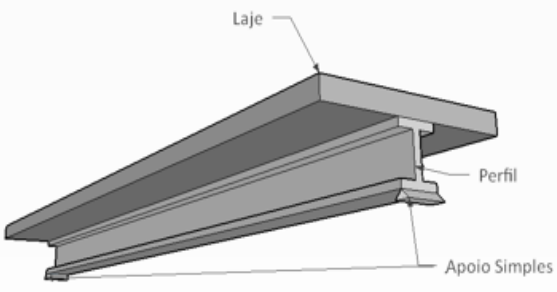
O perfil adotado inicialmente para a análise foi o W 610 x 174,0, o perfil de maior rigidez presente nesse banco de dados, apresentado na Figura 16.

Figura 16– Verificação do perfil W 610 x 174,0.

DADOS DE ENTRADA DO PERFIL

Momento Solicitante (Msd):	150,00 kNm
Tipo do aço:	MR250
Comprimento da Viga (l):	3,00 m
Tipo de Perfil:	W 610 x 174,0
Classificação do perfil:	Laminado
Altura do pavimento:	3,00 m
Número de pavimentos:	2
Altura da Edificação (hed):	3,00 m
Tipo:	1
Ocupação/Uso:	Residencial
TRRF:	30 min
Módulo de elasticidade (E):	200000,00 MPa
Tipo de revestimento:	Argamassa Projetada

Legenda SELECIONAR DIGITAR AUTOMÁTICO



Classificação da Altura da Edificação

	1	2	3	4	5
Uso	h ≤ 6 m	6 m < h _q ≤ 12 m	12 m < h _q ≤ 23 m	23 m < h _q ≤ 30 m	h > 30 m

OBSERVAÇÃO: Para a utilização de argamassa Projetada, o valor mínimo para sua espessura é de **10 mm** e o máximo é de **50 mm**. Para a utilização de Placas de Gesso, o valor mínimo é de **25 mm** e o máximo é de **100 mm**.

DADOS DE SAÍDA

Verificação do Perfil sem revestimento:

$\theta_{cr} =$	826,15 °C
$\theta_a =$	818,03 °C

$\theta_a < \theta_{cr}$

NAO E NECESSARIO MATERIAL PARA A PROTECAO

Verificação do Perfil com revestimento:

$\theta_{cr} =$	826,15 °C
$\theta_a =$	307,59 °C

Tipo de Material: Argamassa Projetada Espessura: 10,00 mm

Fonte: Autoria própria, 2019.

Com o perfil de maior rigidez, W 610 x 174,0, uma carga de 150 kNm, e com um TRRF de 30 min, foi obtido uma temperatura crítica de 826,15°C e uma temperatura do aço de 818,03°C. Dessa forma, como a temperatura crítica foi maior que a temperatura do aço, o perfil resiste sozinho as solicitações, logo, não são necessárias a aplicação de revestimento para proteção.

Em seguida, na Figura 17, realizou-se a verificação com o perfil W 460 x 52,0.

Figura 17– Verificação do perfil W 460 x 52,0.

DADOS DE ENTRADA DO PERFIL

Momento Solicitante (Msd):	150,00 kNm
Tipo do aço:	MR250
Comprimento da Viga (l):	3,00 m
Tipo de Perfil:	W 460 x 52,0
Classificação do perfil	Laminado
Altura do pavimento:	3,00 m
Número de pavimentos:	2
Altura da Edificação (hed):	3,00 m
Tipo:	1
Ocupação/Usu:	Residencial
TRRF:	30 min
Módulo de elasticidade (E):	200000,00 MPa
Tipo de revestimento:	Argamassa Projetada

Legenda SELECIONAR DIGITAR AUTOMÁTICO

Classificação da Altura da Edificação

	1	2	3	4	5
Uso	h ≤ 6 m	6 m < h ₁ ≤ 12 m	12 m < h ₁ ≤ 23 m	23 m < h ₁ ≤ 30 m	h > 30 m

OBSERVAÇÃO: Para a utilização de argamassa Projetada, o valor mínimo para sua espessura é de **10 mm** e o máximo é de **50 mm**. Para a utilização de Placas de Gesso, o valor mínimo é de **25 mm** e o máximo é de **100 mm**.

DADOS DE SAÍDA

Verificação do Perfil sem revestimento:

$\theta_{cr} =$	598,05 °C
$\theta_a =$	833,55 °C

$\theta_a > \theta_{cr}$

O PERFIL NECESSITA DE PROTEÇÃO

Verificação do Perfil com revestimento:

$\theta_{cr} =$	598,05 °C
$\theta_a =$	488,89 °C

Tipo de Material: Argamassa Projetada **Espessura:** 10,00 mm

Fonte: Autoria própria, 2019.

Com o perfil de menor rigidez, W 460 x 52,0, uma carga de 150 kNm, e com um TRRF de 30 min, foi obtido uma temperatura crítica de 598,05°C e uma temperatura do aço de 833,55°C. Dessa forma, como a temperatura do aço foi maior que a temperatura crítica, o perfil necessitou de proteção, porém, com uma espessura mínima de 10 mm. Obtendo-se uma temperatura do aço de 488,89°C.

Em seguida verificou-se a utilização do perfil W 250 x 32,7 apresentado na Figura 18.

Figura 18– Verificação do perfil W 250 x 32,7.

DADOS DE ENTRADA DO PERFIL

Momento Solicitante (Msd): 150,00 kNm

Tipo do aço: MR250

Comprimento da Viga (l): 3,00 m

Tipo de Perfil: W 250 x 32,7

Classificação do perfil: Laminado

Altura do pavimento: 3,00 m

Número de pavimentos: 2

Altura da Edificação (hed): 3,00 m

Tipo: 1

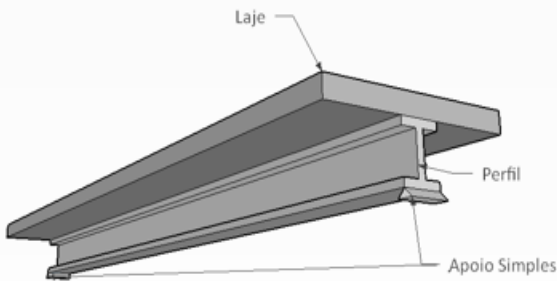
Ocupação/Uso: Residencial

TRRF: 30 min

Módulo de elasticidade (E): 200000,00 MPa

Tipo de revestimento: Argamassa Projetada

Legenda SELECIONAR DIGITAR AUTOMÁTICO



Classificação da Altura da Edificação

	1	2	3	4	5
Uso	$h \leq 6$ m	6 m < $h_1 \leq 12$ m	12 m < $h_2 \leq 23$ m	23 m < $h_3 \leq 30$ m	$h > 30$ m

OBSERVAÇÃO: Para a utilização de argamassa Projetada, o valor mínimo para sua espessura é de 10 mm e o máximo é de 50 mm. Para a utilização de Placas de Gesso, o valor mínimo é de 25 mm e o máximo é de 100 mm.

DADOS DE SAÍDA

Verificação do Perfil sem revestimento:

$\theta_{cr} =$ 400,00 °C

$\theta_a =$ 834,51 °C

$\theta_a > \theta_{cr}$

O PERFIL NECESSITA DE PROTEÇÃO

Verificação do Perfil com revestimento:

$\theta_{cr} =$ 400,00 °C

$\theta_a =$ 361,56 °C

Tipo de Material: Argamassa Projetada

Espessura: 14,00 mm

Fonte: Autoria própria, 2019.

Com a utilização do perfil W 250 x 32,7, para um momento solicitante de 150 kNm e um TRRF de 30 min, foi visto uma temperatura do aço de 834,15°C, maior que a temperatura crítica de 400 °C, logo, o perfil necessitou de proteção de 14 mm de argamassa projetada, maior que a espessura mínima pré-definida para esse material. Obtendo-se uma temperatura do aço de 361,56°C.

Por fim, na Figura 19, foi analisado o perfil de menor rigidez da série dos laminados, o perfil W 150 x 13,0 onde foi mantido fixo a carga solicitante de 150 kNm e o TRRF de 30 min.

Figura 19– Verificação do perfil W 150 x 13,0.

DADOS DE ENTRADA DO PERFIL

Momento Solicitante (Msd):	150,00 kNm
Tipo do aço:	MR250
Comprimento da Viga (l):	3,00 m
Tipo de Perfil:	W 150 x 13,0
Classificação do perfil	Laminado
Altura do pavimento:	3,00 m
Número de pavimentos:	2
Altura da Edificação (hed):	3,00 m
Tipo:	1
Ocupação/Uso:	Residencial
TRRF:	30 min
Módulo de elasticidade (E):	200000,00 MPa
Tipo de revestimento:	Argamassa Projetada

OBSERVAÇÃO: Para a utilização de argamassa Projetada, o valor mínimo para sua espessura é de **10 mm** e o máximo é de **50 mm**. Para a utilização de Placas de Gesso, o valor mínimo é de **25 mm** e o máximo é de **100 mm**.

Legenda SELECIONAR DIGITAR AUTOMÁTICO

Classificação da Altura da Edificação

	1	2	3	4	5
Uso	h ≤ 6 m	6 m < h _e ≤ 12 m	12 m < h _e ≤ 23 m	23 m < h _e ≤ 30 m	h > 30 m

DADOS DE SAÍDA

Verificação do Perfil sem revestimento:

$\theta_{cr} =$	400,00 °C
$\theta_a =$	837,50 °C

$\theta_a > \theta_{cr}$

O PERFIL NECESSITA DE PROTEÇÃO

Verificação do Perfil com revestimento:

$\theta_{cr} =$	400,00 °C
$\theta_a =$	375,34 °C

Tipo de Material: Argamassa Projetada **Espessura:** 16,00 mm

Fonte: Autoria própria, 2019.

Observou-se que, com o perfil de menor rigidez, foi obtido uma temperatura crítica de 400 °C, e uma temperatura do aço de 837,50 °C. Como a temperatura do aço foi maior que a crítica, o perfil necessitou de proteção contra incêndio de argamassa projetada com uma espessura de 16 mm. Obtendo-se uma temperatura do aço de 375,34 °C

De acordo com as análises feitas anteriormente, foi possível verificar a aplicabilidade desta planilha.

Para uma melhor visualização dos dados obtidos, foi criado o Quadro 7.

Quadro 7 – Resumo da primeira aplicação.

Referência	Momento solicitante	Perfil	TRRF	Revestimento	S/proteção		C/ proteção	Espessura
					θ_{cr} (°C)	θ_a (°C)	θ_a (°C)	
Figura 16	150 kN	W 610 x 174	30 min	Argamassa	826,15	818,03	Não é necessário proteção	
Figura 17	150 kN	W 460 x 52,0	30 min	Argamassa	598,05	833,55	488,89	10 mm
Figura 18	150 kN	W 250 x 32,7	30 min	Argamassa	400,00	834,51	361,56	14 mm
Figura 19	150 kN	W 150 x 13,0	30 min	Argamassa	400,00	837,50	375,34	16 mm

Fonte: Autoria própria, 2019.

Como foi visto, ao manter as cargas fixas em 150 kNm, o mesmo TRRF de 30 min e o mesmo revestimento em argamassa projetada, com a diminuição da rigidez dos perfis, foi observado um aumento na temperatura do aço e consequente aumento na espessura da camada de proteção, para que o perfil consiga resistir as solicitações.

5.2 SEGUNDA APLICAÇÃO

Nesta aplicação será analisada os diferentes tipos de espessuras de revestimento utilizados para diferentes cargas solicitantes, mantendo fixos os demais dados de entrada das células.

Figura 20– Carga solicitante de 100 kNm com uso de Argamassa Projetada.

DADOS DE ENTRADA DO PERFIL

Momento Solicitante (Msd): 100,00 kNm

Tipo do aço: MR250

Comprimento da Viga (l): 3,00 m

Tipo de Perfil: W 360 x 39,0

Classificação do perfil: Laminado

Altura do pavimento: 3,00 m

Número de pavimentos: 2

Altura da Edificação (hed): 3,00 m

Tipo: 1

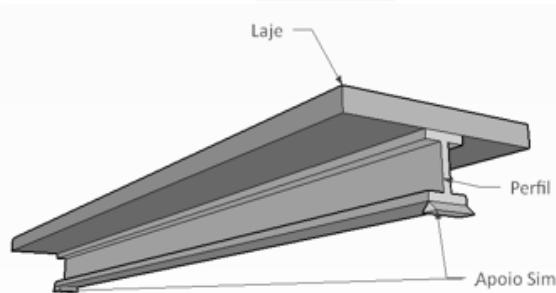
Ocupação/Uso: Residencial

TRRF: 30 min

Módulo de elasticidade (E): 200000,00 MPa

Tipo de revestimento: Argamassa Projetada

Legenda SELECIONAR DIGITAR AUTOMÁTICO



Classificação da Altura da Edificação

	1	2	3	4	5
Use	$h \leq 6$ m	6 m < $h \leq 12$ m	12 m < $h \leq 23$ m	23 m < $h \leq 30$ m	$h > 30$ m

OBSERVAÇÃO: Para a utilização de argamassa Projetada, o valor mínimo para sua espessura é de **10 mm** e o máximo é de **50 mm**. Para a utilização de Placas de Gesso, o valor mínimo é de **25 mm** e o máximo é de **100 mm**.

DADOS DE SAÍDA

Verificação do Perfil sem revestimento:

$\theta_{cr} =$ 583,65 °C

$\theta_a =$ 834,14 °C

$\theta_a > \theta_{cr}$

O PERFIL NECESSITA DE PROTEÇÃO

Verificação do Perfil com revestimento:

$\theta_{cr} =$ 583,65 °C

$\theta_a =$ 506,04 °C

Tipo de Material: Argamassa Projetada

Espessura: 10,00 mm

Fonte: Autoria própria, 2019.

Com uma carga solicitante de 100 kNm, um perfil W360 x 39,0 e o TRRF de 30 min. Foi obtido uma temperatura crítica de 583,65 °C, e uma temperatura do aço de 834,14 °C. Dessa forma, como a temperatura do aço foi superior a temperatura crítica o perfil necessitou de proteção de 10 mm de argamassa projetada. Obtendo-se uma temperatura do aço de 506,04 °C.

Nesse caso, mostrado na Figura 21 a carga solicitante sofrerá um acréscimo, já os demais dados irão permanecer os mesmos da análise anterior.

Figura 21– Carga solicitante de 200 kNm com uso de Argamassa Projetada.

DADOS DE ENTRADA DO PERFIL

Momento Solicitante (Msd):	200,00 kNm
Tipo do aço:	MR250
Comprimento da Viga (l):	3,00 m
Tipo de Perfil:	W 360 x 39,0
Classificação do perfil	Laminado
Altura do pavimento:	3,00 m
Número de pavimentos:	2
Altura da Edificação (hed):	3,00 m
Tipo:	1
Ocupação/Uso:	Residencial
TRRF:	30 min
Módulo de elasticidade (E):	200000,00 MPa
Tipo de revestimento:	Argamassa Projetada

Legenda SELECIONAR DIGITAR AUTOMÁTICO

Classificação da Altura da Edificação

	1	2	3	4	5
Uso	$h \leq 6$ m	6 m < $h \leq 12$ m	12 m < $h \leq 23$ m	23 m < $h \leq 30$ m	$h > 30$ m

OBSERVAÇÃO: Para a utilização de argamassa Projetada, o valor mínimo para sua espessura é de **10 mm** e o máximo é de **50 mm**. Para a utilização de Placas de Gesso, o valor mínimo é de **25 mm** e o máximo é de **100 mm**.

DADOS DE SAÍDA

Verificação do Perfil sem revestimento:

$\theta_{cr} =$	400,00 °C
$\theta_a =$	834,14 °C

$\theta_a > \theta_{cr}$

O PERFIL NECESSITA DE PROTEÇÃO

Verificação do Perfil com revestimento:

$\theta_{cr} =$	400,00 °C
$\theta_a =$	354,17 °C

Tipo de Material: Argamassa Projetada **Espessura:** 14,00 mm

Fonte: Autoria própria, 2019.

Para uma carga solicitante de 200 kNm, um perfil W360 x 39,0 e o TRRF de 30 min. Foi obtido uma temperatura crítica de 400 °C, e uma temperatura do aço de 834,14 °C. Dessa forma, como a temperatura do aço foi superior a temperatura crítica o perfil necessitou de proteção de 14 mm de argamassa projetada. Obtendo-se uma temperatura do aço de 354,17 °C

Para o caso da Figura 22, utilizou-se do revestimento com placa de gesso, e uma carga solicitante inicialmente com 100 kNm.

Figura 22– Carga solicitante de 100 kNm com uso de Placa Gesso.

DADOS DE ENTRADA DO PERFIL

Momento Solicitante (Msd):	100,00 kNm
Tipo do aço:	MR250
Comprimento da Viga (l):	3,00 m
Tipo de Perfil:	W 360 x 39,0
Classificação do perfil	Laminado
Altura do pavimento:	3,00 m
Número de pavimentos:	2
Altura da Edificação (hed):	3,00 m
Tipo:	1
Ocupação/Uso:	Residencial
TRRF:	30 min
Módulo de elasticidade (E):	200000,00 MPa
Tipo de revestimento:	Placa de Gesso

Legenda SELECIONAR DIGITAR AUTOMÁTICO

Classificação da Altura da Edificação

	1	2	3	4	5
Uso	$h \leq 6$ m	6 m < $h_0 \leq 12$ m	12 m < $h_0 \leq 23$ m	23 m < $h_0 \leq 50$ m	$h > 50$ m

DADOS DE SAÍDA

Verificação do Perfil sem revestimento:

$\theta_{cr} =$	583,65 °C
$\theta_a =$	834,14 °C

$\theta_a > \theta_{cr}$

O PERFIL NECESSITA DE PROTEÇÃO

Verificação do Perfil com revestimento:

$\theta_{cr} =$	583,65 °C
$\theta_a =$	242,33 °C

Tipo de Material: Placa de Gesso Espessura: 25,00 mm

Fonte: Autoria própria, 2019.

Para esse caso, foi utilizado uma carga solicitante de 100 kNm, um perfil W360 x 39,0 e o TRRF de 30 min. E foi obtido uma temperatura crítica de 583,65 °C, e uma temperatura do aço de 834,14 °C. Dessa forma, como a temperatura do aço foi superior a temperatura crítica o perfil necessitou de proteção de placa de gesso, onde a espessura mínima é de 25 mm. Obtendo-se uma temperatura do aço de 242,33 °C. Nota-se que a temperatura do aço, neste exemplo, diminuiu consideravelmente após a aplicação da proteção, devido as capacidades térmicas do gesso e sua espessura serem maiores, quando comparadas com a da argamassa.

Já para a Figura 23, utilizou-se do mesmo revestimento anteriormente analisado (placa de gesso), porém com uma carga solicitante de 200 kNm.

Figura 23– Carga solicitante de 200 kNm com uso de Placa Gesso.

DADOS DE ENTRADA DO PERFIL

Momento Solicitante (Msd):	200,00 kNm
Tipo do aço:	MR250
Comprimento da Viga (l):	3,00 m
Tipo de Perfil:	W 360 x 39,0
Classificação do perfil	Laminado
Altura do pavimento:	3,00 m
Número de pavimentos:	2
Altura da Edificação (hed):	3,00 m
Tipo:	1
Ocupação/Uso:	Residencial
TRRF:	30 min
Módulo de elasticidade (E):	200000,00 MPa
Tipo de revestimento:	Placa de Gesso

OBSERVAÇÃO: Para a utilização de argamassa Projetada, o valor mínimo para sua espessura é de 10 mm e o máximo é de 50 mm. Para a utilização de Placas de Gesso, o valor mínimo é de 25 mm e o máximo é de 100 mm.

Legenda SELECIONAR DIGITAR AUTOMÁTICO

Classificação da Altura da Edificação

	1	2	3	4	5
Uso	$h \leq 6 \text{ m}$	$6 \text{ m} < h \leq 12 \text{ m}$	$12 \text{ m} < h \leq 23 \text{ m}$	$23 \text{ m} < h \leq 30 \text{ m}$	$h > 30 \text{ m}$

DADOS DE SAÍDA

Verificação do Perfil sem revestimento:

$\theta_{cr} =$	400,00 °C
$\theta_a =$	834,14 °C

$\theta_a > \theta_{cr}$

O PERFIL NECESSITA DE PROTEÇÃO

Verificação do Perfil com revestimento:

$\theta_{cr} =$	400,00 °C
$\theta_a =$	242,33 °C

Tipo de Material: Placa de Gesso Espessura: 25,00 mm

Fonte: Autoria própria, 2019.

Com uma carga solicitante de 200 kNm, um perfil W360 x 39,0 e o TRRF de 30 min. Foi obtido uma temperatura crítica de 400 °C, e uma temperatura do aço de 834,14 °C. Dessa forma, como a temperatura do aço foi superior a temperatura crítica o perfil necessitou de proteção de mínima de 25 mm de placa de gesso. Suficiente para manter a temperatura do aço menor que a crítica, com 242,33 °C.

Isso pode ser mostrado mais claramente através do Quadro 8.

Quadro 8 – Resumo da segunda aplicação.

Referência	Momento solicitante	Perfil	TRRF	Revestimento	S/proteção		C/ proteção	Espessura
					θ_{cr} (°C)	θ_a (°C)	θ_a (°C)	
Figura 20	100 kNm	W 360 x 39,0	30 min	Argamassa	583,65	834,14	506,04	10 mm
Figura 21	200 kNm	W 360 x 39,0	30 min	Argamassa	400,00	834,14	354,17	14 mm
Figura 22	100 kNm	W 360 x 39,0	30 min	Gesso	583,65	834,14	242,33	25 mm
Figura 23	200 kNm	W 360 x 39,0	30 min	Gesso	400,00	834,14	242,33	25 mm

Fonte: Autoria própria, 2019.

Como foi visto, ao analisar o mesmo perfil W 360 x 39,0, e um TRRF de 30 min. Ao aumentar o momento solicitante, foi possível observar um aumento na espessura de material para proteção. Já para a placa de gesso, não foi possível visualizar esse aumento na espessura do material para proteção, pois a camada de 25 mm em placa de gesso consegue diminuir consideravelmente a temperatura do aço.

5.3 TERCEIRA APLICAÇÃO

Para essa análise, buscou-se avaliar a relação do TRRF com a variação de temperatura do aço e a espessura do material de proteção. No qual, foram mantidos fixos a carga solicitante de 200 kNm, e o perfil W 310 x 52,0, modificando apenas o TRRF.

Figura 24– TRRF de 30 minutos com uso de proteção em argamassa projetada.

DADOS DE ENTRADA DO PERFIL

Momento Solicitante (Msd): 200,00 kNm

Tipo do aço: MR250

Comprimento da Viga (l): 3,00 m

Tipo de Perfil: W 310 x 52,0

Classificação do perfil: Laminado

Altura do pavimento: 3,00 m

Número de pavimentos: 2

Altura da Edificação (hed): 3,00 m

Tipo: 1

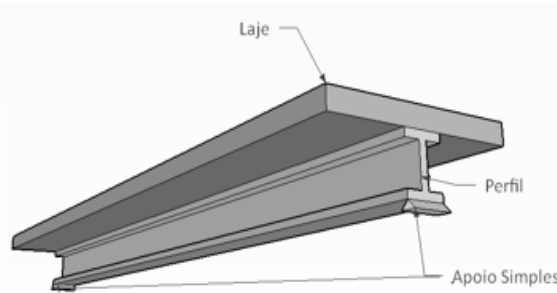
Ocupação/Uso: Residencial

TRRF: 30 min

Módulo de elasticidade (E): 200000,00 MPa

Tipo de revestimento: Argamassa Projetada

Legenda SELECIONAR DIGITAR AUTOMÁTICO



Classificação da Altura da Edificação

	1	2	3	4	5
Uso	h ≤ 6 m	6 m < h _e ≤ 12 m	12 m < h _e ≤ 23 m	23 m < h _e ≤ 30 m	h > 30 m

OBSERVAÇÃO: Para a utilização de argamassa Projetada, o valor mínimo para sua espessura é de **10 mm** e o máximo é de **50 mm**. Para a utilização de Placas de Gesso, o valor mínimo é de **25 mm** e o máximo é de **100 mm**.

DADOS DE SAÍDA

Verificação do Perfil sem revestimento:

$\theta_{cr} =$ 479,00 °C

$\theta_a =$ 831,49 °C

$\theta_a > \theta_{cr}$

O PERFIL NECESSITA DE PROTEÇÃO

$\theta_{cr} =$ 479,00 °C

$\theta_a =$ 439,02 °C

Tipo de Material: Argamassa Projetada

Espessura: 10,00 mm

Fonte: Autoria própria, 2019.

Neste exemplo, com uma carga solicitante de 200 kNm, o perfil W 310 x 52,0, e o TRRF em 30 min. Para essa aplicação, foi obtido uma temperatura crítica de 479,00 °C, e uma temperatura do aço de 831,49 °C. Foi visto a necessidade de proteção, com espessura de 10 mm em argamassa projetada. Baixando a temperatura do aço para 439,02 °C.

Figura 25– TRRF de 60 minutos com uso de proteção em argamassa projetada.

DADOS DE ENTRADA DO PERFIL

Momento Solicitante (Msd): 200,00 kNm

Tipo do aço: MR250

Comprimento da Viga (l): 3,00 m

Tipo de Perfil: W 310 x 52,0

Classificação do perfil: Laminado

Altura do pavimento: 3,00 m

Número de pavimentos: 4

Altura da Edificação (hed): 9,00 m

Tipo: 2

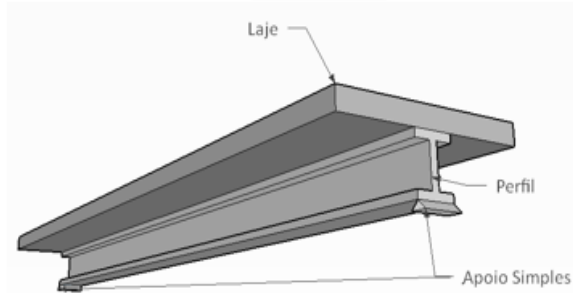
Ocupação/uso: Residencial

TRRF: 60 min

Módulo de elasticidade (E): 200000,00 MPa

Tipo de revestimento: Argamassa Projetada

Legenda SELECIONAR DIGITAR AUTOMÁTICO



Classificação da Altura da Edificação

	1	2	3	4	5
Uso	h ≤ 6 m	6 m < h _q ≤ 12 m	12 m < h _q ≤ 23 m	23 m < h _q ≤ 30 m	h > 30 m

OBSERVAÇÃO: Para a utilização de argamassa Projetada, o valor mínimo para sua espessura é de **10 mm** e o máximo é de **50 mm**. Para a utilização de Placas de Gesso, o valor mínimo é de **25 mm** e o máximo é de **100 mm**.

DADOS DE SAÍDA

Verificação do Perfil sem revestimento:

$\theta_{cr} =$ 479,00 °C

$\theta_a =$ 941,65 °C

$\theta_a > \theta_{cr}$

O PERFIL NECESSITA DE PROTEÇÃO

$\theta_{cr} =$ 479,00 °C

$\theta_a =$ 941,65 °C

Verificação do Perfil com revestimento:

$\theta_{cr} =$ 479,00 °C

$\theta_a =$ 438,69 °C

$\theta_{cr} =$ 479,00 °C

$\theta_a =$ 438,69 °C

Tipo de Material: Argamassa Projetada

Espessura: 16,00 mm

Fonte: Autoria própria, 2019.

Com o mesmo perfil adotado anteriormente, e um TRRF de 60 min, , foi obtido uma temperatura crítica de 479,00 °C, e uma temperatura do aço de 941,65 °C. Como a temperatura do aço foi maior que a temperatura crítica, foi visto a necessidade de proteção, com espessura de 16 mm de argamassa projetada. Baixando a temperatura do aço para 438,69 °C

Figura 26– TRRF de 90 minutos com uso de proteção em argamassa projetada.

DADOS DE ENTRADA DO PERFIL

Momento Solicitante (Msd): 200,00 kNm

Tipo do aço: MR250

Comprimento da Viga (l): 3,00 m

Tipo de Perfil: W 310 x 52,0

Classificação do perfil: Laminado

Altura do pavimento: 3,00 m

Número de pavimentos: 9

Altura da Edificação (hed): 24,00 m

Tipo: 4

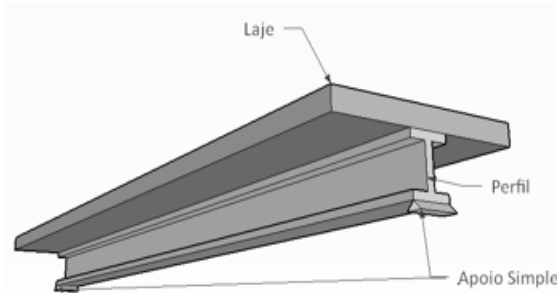
Ocupação/Uso: Residencial

TRRF: 90 min

Módulo de elasticidade (E): 200000,00 MPa

Tipo de revestimento: Argamassa Projetada

Legenda SELECIONAR DIGITAR AUTOMÁTICO



Classificação da Altura da Edificação

	1	2	3	4	5
Uso	$h \leq 6$ m	6 m < $h_2 \leq 12$ m	12 m < $h_3 \leq 23$ m	23 m < $h_4 \leq 30$ m	$h > 30$ m

OBSERVAÇÃO: Para a utilização de argamassa Projetada, o valor mínimo para sua espessura é de **10 mm** e o máximo é de **50 mm**. Para a utilização de Placas de Gesso, o valor mínimo é de **25 mm** e o máximo é de **100 mm**.

DADOS DE SAÍDA

Verificação do Perfil sem revestimento:

$\theta_{cr} =$ 479,00 °C

$\theta_a =$ 1003,89 °C

$\theta_a > \theta_{cr}$

O PERFIL NECESSITA DE PROTEÇÃO

$\theta_{cr} =$ 479,00 °C

$\theta_a =$ 469,85 °C

Tipo de Material: Argamassa Projetada

Espessura: 18,00 mm

Fonte: Autoria própria, 2019.

Neste caso foi utilizado o tempo requerido de 90 minutos, onde a edificação possui grandes capacidades em termos de altura. Tendo em vista este TRRF o perfil W 310 x 52,0 necessitou de uma camada de 18 mm de argamassa projetada (Figura 26).

É visto que, quanto maior o TRRF, maior a temperatura do aço nas condições de incêndio, assim como a espessura do material de proteção. Essa análise é vista mais facilmente através do Quadro 9.

Quadro 9 –Resumo da terceira aplicação.

Referência	Momento solicitante	Perfil	TRRF	Revestimento	S/proteção		C/ proteção	Espessura
					θ_{cr} (°C)	θ_a (°C)	θ_a (°C)	
Figura 24	200 kNm	W 310 x 52,0	30 min	Argamassa	479,00	831,49	439,02	10 mm
Figura 25	200 kNm	W 310 x 52,0	60 min	Argamassa	479,00	941,65	438,69	16 mm
Figura 26	200 kNm	W 310 x 52,0	90 min	Argamassa	479,00	1003,89	469,85	18 mm

Fonte: Autoria própria, 2019.

Como foi visto, ao manter as cargas fixas em 200 kNm, o perfil W 310 x 52,0, e o mesmo revestimento em argamassa projetada, com o aumento do TRRF, foi observado um aumento na temperatura do aço e consequente aumento na espessura da camada de proteção, para que o perfil consiga resistir as solicitações.

5.4 QUARTA APLICAÇÃO

Nessa aplicação será verificado a influência da utilização de perfis laminados e soldados. Inicialmente, serão comparados os menores perfis do banco de dados, sendo os perfis laminados W 150 x 13,0 e o soldado CS 150 x 25,0, mostrados na Figura 27 e Figura 28. Em seguida, serão comparados o maior perfil laminado, com um perfil soldado de rigidez semelhante. Sendo estes, o perfil laminado W 610 x 174,0 e o soldado CS 600 x 250,0, mantendo fixos as cargas solicitantes de 200 kNm e o TRRF 30 min, mostrado nas Figura 29 e Figura 30.

Figura 27– Perfil W 150 x 13,0.

DADOS DE ENTRADA DO PERFIL

Momento Solicitante (Msd):	200,00 kNm
Tipo do aço:	MR250
Comprimento da Viga (l):	3,00 m
Tipo de Perfil:	W 150 x 13,0
Classificação do perfil	Laminado
Altura do pavimento:	3,00 m
Número de pavimentos:	2
Altura da Edificação (hed):	3,00 m
Tipo:	1
Ocupação/Uso:	Residencial
TRRF:	30 min
Módulo de elasticidade (E):	200000,00 MPa
Tipo de revestimento:	Argamassa Projetada

OBSERVAÇÃO: Para a utilização de argamassa Projetada, o valor mínimo para sua espessura é de **10 mm** e o máximo é de **50 mm**. Para a utilização de Placas de Gesso, o valor mínimo é de **25 mm** e o máximo é de **100 mm**.

Legenda SELECIONAR DIGITAR AUTOMÁTICO

Classificação da Altura da Edificação

	1	2	3	4	5
Uso	$h \leq 6 \text{ m}$	$6 \text{ m} < h \leq 12 \text{ m}$	$12 \text{ m} < h \leq 23 \text{ m}$	$23 \text{ m} < h \leq 30 \text{ m}$	$h > 30 \text{ m}$

DADOS DE SAÍDA

Verificação do Perfil sem revestimento:

$\theta_{cr} =$ 400,00 °C
 $\theta_a =$ 837,50 °C

$\theta_a > \theta_{cr}$

O PERFIL NECESSITA DE PROTEÇÃO

Verificação do Perfil com revestimento:

$\theta_{cr} =$ 400,00 °C
 $\theta_a =$ 375,34 °C

Tipo de Material: Argamassa Projetada Espessura: 16,00 mm

Fonte: Autoria própria, 2019.

Na Figura 27, foi utilizado o perfil W 150 x 13,0, menor perfil da série laminada, onde foi preciso 16 mm de argamassa projetada.

Figura 28– Perfil CS 150 x 25,0 .

DADOS DE ENTRADA DO PERFIL	
Momento Solicitante (Msd):	200,00 kNm
Tipo do aço:	MR250
Comprimento da Viga (l):	3,00 m
Tipo de Perfil:	CS 150 x 25
Classificação do perfil	Soldado
Altura do pavimento:	3,00 m
Número de pavimentos:	2
Altura da Edificação (hed):	3,00 m
Tipo:	1
Ocupação/Uso:	Residencial
TRRF:	30 min
Módulo de elasticidade (E):	200000,00 MPa
Tipo de revestimento:	Argamassa Projetada

OBSERVAÇÃO: Para a utilização de argamassa Projetada, o valor mínimo para sua espessura é de **10 mm** e o máximo é de **50 mm**. Para a utilização de Placas de Gesso, o valor mínimo é de **25 mm** e o máximo é de **100 mm**.

Legenda SELECIONAR DIGITAR AUTOMÁTICO

Classificação da Altura da Edificação

	1	2	3	4	5
Uso	$h \leq 6 \text{ m}$	$6 \text{ m} < h \leq 12 \text{ m}$	$12 \text{ m} < h \leq 23 \text{ m}$	$23 \text{ m} < h \leq 30 \text{ m}$	$h > 30 \text{ m}$

DADOS DE SAÍDA	
Verificação do Perfil sem revestimento:	$\theta_{cr} =$ 400,00 °C
	$\theta_a =$ 834,90 °C
	$\theta_a > \theta_{cr}$
O PERFIL NECESSITA DE PROTECAO	
Verificação do Perfil com revestimento:	$\theta_{cr} =$ 400,00 °C
	$\theta_a =$ 369,88 °C
<u>Tipo de Material:</u> Argamassa Projetada	<u>Espessura:</u> 14,00 mm

Fonte: Autoria própria, 2019.

Na Figura 28, foi utilizado o perfil CS 150 x 25,0, menor perfil da série soldada, onde foi preciso uma camada de 14 mm de argamassa projetada para que a temperatura do aço atendesse as condições.

Na Figura 29, foi mantido constante o valor da carga solicitante de 200 kNm e o TRRF de 30 min, assim como nas análises anteriores. E como resultado, foi obtido a espessura necessária de 10 mm de argamassa projetada, a mínima espessura disponível no banco de dados da planilha para esse material.

Figura 29– Perfil W 610 x 174,0.

DADOS DE ENTRADA DO PERFIL

Momento Solicitante (Msd): 200,00 kNm

Tipo do aço: MR250

Comprimento da Viga (l): 3,00 m

Tipo de Perfil: W 610 x 174,0

Classificação do perfil: Laminado

Altura do pavimento: 3,00 m

Número de pavimentos: 2

Altura da Edificação (hed): 3,00 m

Tipo: 1

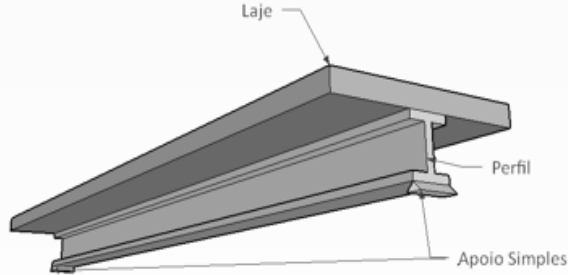
Ocupação/Uso: Residencial

TRRF: 30 min

Módulo de elasticidade (E): 200000,00 MPa

Tipo de revestimento: Argamassa Projetada

Legenda SELECIONAR DIGITAR AUTOMÁTICO



Classificação da Altura da Edificação

	1	2	3	4	5
Uso	h ≤ 6 m	6 m < h _e ≤ 12 m	12 m < h _e ≤ 23 m	23 m < h _e ≤ 30 m	h > 30 m

OBSERVAÇÃO: Para a utilização de argamassa Projetada, o valor mínimo para sua espessura é de **10 mm** e o máximo é de **50 mm**. Para a utilização de Placas de Gesso, o valor mínimo é de **25 mm** e o máximo é de **100 mm**.

DADOS DE SAÍDA

Verificação do Perfil sem revestimento:

$\theta_{cr} =$ 783,97 °C

$\theta_a =$ 818,03 °C

$\theta_a > \theta_{cr}$

O PERFIL NECESSITA DE PROTECAO

$\theta_{cr} =$ 783,97 °C

$\theta_a =$ 307,59 °C

Tipo de Material: Argamassa Projetada

Espessura: 10,00 mm

Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 30– Perfil CS 600 x 250,0.

DADOS DE ENTRADA DO PERFIL

Momento Solicitante (Msd):	200,00 kNm
Tipo do aço:	MR250
Comprimento da Viga (l):	3,00 m
Tipo de Perfil:	CS 600 x 250
Classificação do perfil	Soldado
Altura do pavimento:	3,00 m
Número de pavimentos:	2
Altura da Edificação (hed):	3,00 m
Tipo:	1
Ocupação/Uso:	Residencial
TRRF:	30 min
Módulo de elasticidade (E):	200000,00 MPa
Tipo de revestimento:	Argamassa Projetada

OBSERVAÇÃO: Para a utilização de argamassa Projetada, o valor mínimo para sua espessura é de **10 mm** e o máximo é de **50 mm**. Para a utilização de Placas de Gesso, o valor mínimo é de **25 mm** e o máximo é de **100 mm**.

Legenda: SELECIONAR DIGITAR AUTOMÁTICO

Classificação da Altura da Edificação

	1	2	3	4	5
Uso	h ≤ 6 m	6 m < h ₂ ≤ 12 m	12 m < h ₃ ≤ 23 m	23 m < h ₄ ≤ 30 m	h > 30 m

DADOS DE SAÍDA

Verificação do Perfil sem revestimento:

$\theta_{cr} = 866,21\text{ }^{\circ}\text{C}$
 $\theta_a = 792,69\text{ }^{\circ}\text{C}$

$\theta_a < \theta_{cr}$

NAO E NECESSARIO MATERIAL PARA A PROTECAO

Verificação do Perfil com revestimento:

$\theta_{cr} = 866,21\text{ }^{\circ}\text{C}$
 $\theta_a = 246,74\text{ }^{\circ}\text{C}$

Tipo de Material: Argamassa Projetada Espessura: 10,00 mm

Fonte: Autoria própria, 2019.

Pela análise da Figura 30, pode-se observar que o perfil CS 600 x 250,0 não necessitou da aplicabilidade de revestimento de proteção. Sendo assim, o perfil mostrou ter resistência suficiente para resistir sem proteção, ao TRRF de 30 min.

Para essa análise mostrou-se que os perfis soldados, por apresentarem um maior peso, apresentam maior resistência ao fogo, consequentemente necessitando de uma menor proteção. Como pode ser visto no Quadro 10, que mostra de forma mais compacta os dados obtidos nessa análise.

Quadro 10 –Resumo da quarta aplicação.

Referência	Momento solicitante	Perfil	TRRF	Revestimento	S/proteção		C/ proteção	Espessura
					θ_{cr} (°C)	θ_a (°C)	θ_a (°C)	
Figura 27	200 kNm	W 150 x 13,0	30 min	Argamassa	400,00	837,50	375,34	16 mm
Figura 28	200 kNm	CS 150 x 25,0	30 min	Argamassa	400,00	834,90	369,88	14 mm
Figura 29	200 kNm	W 610 x 174	30 min	Argamassa	783,97	818,03	307,59	10 mm
Figura 30	200 kNm	CS 600 x 250	30 min	Argamassa	866,21	792,69	Não é necessário proteção	

Fonte: Autoria própria, 2019.

Vale salientar que os perfis soldados apresentam uma maior área bruta, o que influencia no cálculo do fator de massividade.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da pesquisa, verificou-se a necessidade de conhecer os riscos de incêndio a que uma edificação poderá estar exposta, quando a estrutura de aço não for protegida por barreira de proteção, que deverá ser idealizada para atender às exigências das normas técnicas, a fim de evitar o colapso estrutural.

Foram analisados perfis metálicos laminados e soldados, protegido por dois tipos de materiais comumente usados para este procedimento que são a argamassa projetada, e as placas de gesso.

Os resultados apresentados mostraram conformidade com os dados esperados. Onde, na primeira aplicação foi visto que com a diminuição da rigidez dos perfis, foi observado um aumento na temperatura do aço. Na segunda aplicação foi visto que com o aumento da solicitação, será necessária uma maior proteção para que o perfil resista ao fogo. Na terceira aplicação, foi verificado uma relação direta entre o TRRF, a temperatura do aço, e a espessura do material de proteção. Já na quarta aplicação, foi visto que os perfis laminados obtiveram temperatura relativamente superiores aos dos perfis soldado.

Por fim, sugere-se como trabalhos futuros, a implementação da verificação do cisalhamento na planilha desenvolvidas neste trabalho como forma de complementar a verificação do perfil metálico quando submetidos a um incêndio.

REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14323**. Dimensionamento de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço-concreto em situação de incêndio. Rio de Janeiro, 2013.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14432**. Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações. Rio de Janeiro, 2001.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8800**. Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.
- 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.
- USP (Org.). Anexo Tabelas de perfis. 2014. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/228859/mod_resource/content/1/tabela_perfis_2014-2.pdf>. Acesso em: 07 mar. 2019.
- AZEVEDO, Macksuel Soares de; MURAKAMI, Almir; SILVA, Valdir Pignatta e. **Segurança das estruturas de aço externas a edificações em situação de incêndio**. Engenharia Civil: Estrutura em Aço, Ouro Preto, p.1-7, 2007.
- BANDEIRA, A. A. C. **Análise do uso de estruturas de aço em edificações habitacionais de interesse social**. Monografia. Especialização em Construção Civil – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008. 122p
- CORTEZ, Lucas Azevedo da Rocha *et al.* **Uso das Estruturas de Aço No Brasil**. Ciências Exatas e Tecnológicas, Alagoas, v. 4, p.217-228, nov. 2017.
- DIAS, Luís Andrade de Mattos. **Estruturas de Aço: conceitos, técnicas, e linguagem**. São Paulo, 2002.
- FERRAZ, Rodrigo. **Otimização de Projetos de Engenharia**. 2008. Disponível em: <<https://www.esss.co/blog/otimizacao-de-projetos-de-engenharia/>>. Acesso em: 11 fev. 2019.
- GOMES, Taís. **Projeto de Prevenção e Combate à Incêndio**. 2014. 94 p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2014
- 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.
- LIBÂNIO, M. Pinheiro *et al.* Estruturas de Concreto – Capítulo 1. **Fundamentos do Concreto e Projeto de Edifícios**. São Carlos: Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Estruturas. 2007. p. 1 - 380.

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.

ROCHA NETO, Anselmo; ZANELLA, Cleunice. Planejamento da Produção com a Utilização do *Solver* – *Excel* na Empresa BONDIO ALIMENTOS S.A. In: **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. XXVII. Foz do Iguaçu, PR, Brasil, Outubro – 9 a 11, 2007.

SEITO, A. I. *et al.* **A segurança contra incêndios no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora, 2008. 496p.

SILVA, Valdir Pignatta; VARGAS, Mauri Resende. Resistência ao Fogo de Estruturas de Aço. **Bibliografia técnica para o desenvolvimento da construção em aço**. Instituto Brasileiro de Siderurgia - IBS / Centro Brasileiro da Construção em Aço - CBCA, Rio de Janeiro, 2003. 76 p.

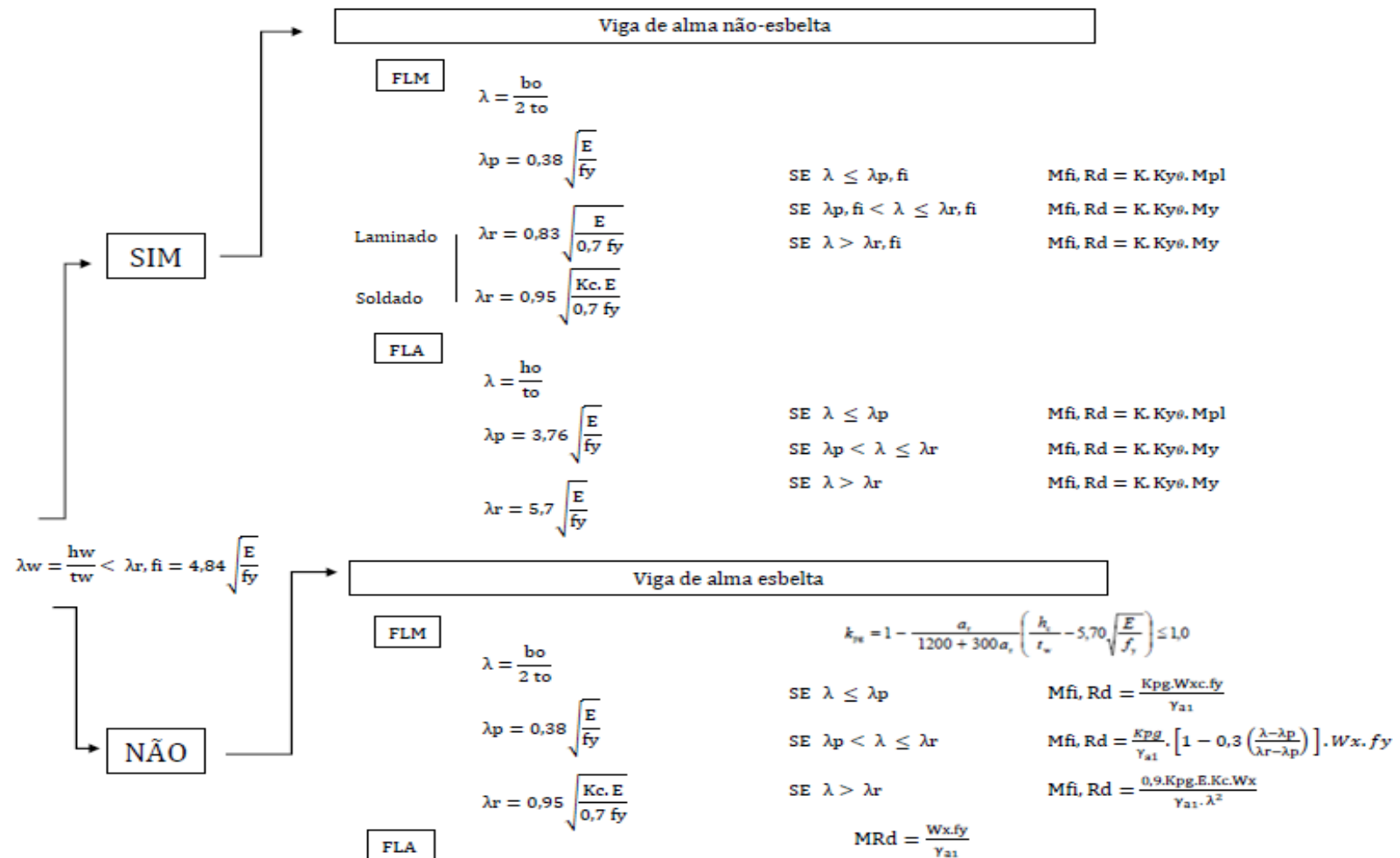
SIMIANO, Lucas Frates; BAUMEL, Luiz Fernando Silva. **Manual de Prevenção e Combate a Princípios de Incêndio**. Governo do Estado do Paraná: 2013. 19 slides, color.

SOARES, Ederson Freitas. **Aspectos Gerais dos Sistemas de Proteção contra Incêndio em Estruturas Metálicas**. 2014. 68 p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2014.

SOUSA, Douglas Alves de; SILVA, Guilherme Pereira. **Estruturas de Concreto em Situação de Incêndio**. 2015. 134 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

VIEIRA, Luciano Lins *et al.* Análise da Resistência dos Elementos de Aço em Situação de Incêndio: Um estudo comparativo entre a norma ABNT NBR 14323:2013 e sua versão de 1999. In: **Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering**, XXXVII. Brasília, DF, Brazil, November 6-9, 2016.

APÊNDICE A – Fluxograma para determinação dos momentos

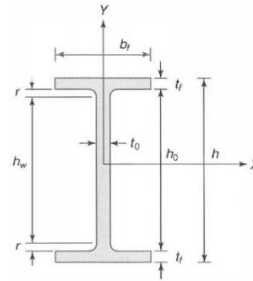


ANEXO A – Tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF), em minutos.

Grupo	Ocupação/ Uso	Divisão	Profundidade do subsolo		Altura da edificação				
			Classe S ₂ h _s > 10 m	Classe S ₁ h _s ≤ 10 m	Classe P ₁ h ≤ 6 m	Classe P ₂ 6 m < h _s ≤ 12 m	Classe P ₃ 12 m < h _s ≤ 23 m	Classe P ₄ 23 m < h _s ≤ 30 m	Classe P ₅ h > 30 m
A	Residencial	A-1 a A-3	90	60 (30)	30	30	60	90	120
B	Serviços de hospedagem	B-1 a 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, 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: NBR 14432/2001.

ANEXO B – Perfis W (Tipo I)



Tipo	Área Bruta	to	ho	tf	bf	Ix	Wx	Zx	Iy	Wy	Zy	hw/t0
W 150 x 13,0	16,6	4,3	138,2	4,9	100	635	86	96	82	16	26,00	27,5
W 150 x 18,4	23,4	5,8	138,8	7,1	102	939	123	139	126	25	39,00	20,5
W 150 x 22,5	29	5,8	139	6,6	152	1229	162	180	387	51	78,00	20,5
W 150 x 29,8	38,5	6,6	138	9,3	153	1739	222	248	556	73	111,00	17,9
W 150 x 37,1	47,8	8,1	139	11,6	154	2224	277	314	707	92	140,00	14,7
W 200 x 15,0	19,4	4,3	189,6	5,2	100	1305	130	148	87	17	27,00	39,4
W 200 x 19,3	25,1	5,8	190	6,5	102	1686	166	191	116	23	36,00	29,3
W 200 x 22,5	29	6,2	190	8	102	2029	197	226	142	28	44,00	27,4
W 200 x 26,6	34,2	5,8	190,2	8,4	133	2611	252	282	330	50	76,00	29,3
W 200 x 31,3	40,3	6,4	189,6	10,2	134	3168	302	339	410	61	94,00	26,5
W 200 x 35,9	45,7	6,2	181	10,2	165	3437	342	380	764	93	141,00	25,9
W 200 x 46,1	58,6	7,2	181	11	203	4543	448	495	1535	151	229,00	22,4
W 250 x 17,9	23,1	4,8	240,4	5,3	101	2291	183	211	91	18	29,00	45,9
W 250 x 22,3	28,9	5,8	240,2	6,9	102	2939	231	268	123	24	38,00	38,0

Continúa

Continuação

Tipo	Área Bruta	to	ho	tf	bf	Ix	Wx	Zx	Iy	Wy	Zy	hw/t0
W 250 x 25,3	32,6	6,1	240,2	8,4	102	3473	270	311	149	29	46,00	36,1
W 250 x 28,4	36,6	6,4	240	10	102	4046	311	357	178	35	55,00	34,4
W 250 x 32,7	42,1	6,1	239,8	9,1	146	4937	383	429	473	65	100,00	36,0
W 250 x 38,5	49,6	6,6	239,6	11,2	147	6057	462	518	594	81	124,00	33,3
W 250 x 44,8	57,6	7,6	240	13	148	7158	538	606	704	95	146,00	29,0
W 250 x 73,0	92,7	8,6	224,6	14,2	254	11257	890	983	3880	306	463,00	23,3
W 250 x 80,0	101,9	9,4	224,8	15,6	255	12550	980	1089	4313	338	513,00	21,4
W 250 x 89,0	113,9	10,7	225,4	17,3	256	14237	1095	1224	4841	378	574,00	18,8
W 310 x 21,0	27,2	5,1	291,6	5,7	101	3776	249	292	98	19	31,00	53,3
W 310 x 23,8	30,7	5,6	291,6	6,7	101	4346	285	333	116	23	37,00	48,5
W 310 x 28,3	36,5	6	291,2	8,9	102	5500	356	412	158	31	49,00	45,2
W 310 x 32,7	42,1	6,6	291,4	10,8	102	6570	420	485	192	38	60,00	41,1
W 310 x 38,7	49,7	5,8	290,6	9,7	165	8581	554	615	727	88	135,00	46,7
W 310 x 44,5	57,2	6,6	290,6	11,2	166	9997	639	713	855	103	158,00	41,0
W 310 x 52,0	67	7,6	290,6	13,2	167	11909	751	842	1026	123	189,00	35,6
W 310 x 97,0	123,6	9,9	277,2	15,4	305	22284	1447	1594	7286	478	725,00	24,8
W 310 x 107,0	136,4	10,9	277	17	306	24839	1597	1768	8123	531	806,00	22,5
W 310 x 117,0	149,9	11,9	276,6	18,7	307	27563	1756	1953	9024	588	893,00	20,6

Continúa

Continuação

Tipo	Área Bruta	to	ho	tf	bf	Ix	Wx	Zx	Iy	Wy	Zy	hw/t0
W 360 x 32,9	42,1	5,8	332	8,5	127	8358	479	548	291	46	72,00	53,1
W 360 x 39,0	50,2	6,5	331,6	10,7	128	10331	585	668	375	59	92,00	47,3
W 360 x 44,0	57,7	6,9	332,4	9,8	171	12258	696	784	818	96	148,00	44,7
W 360 x 51,0	64,8	7,2	331,8	11,6	171	14222	801	900	968	113	175,00	42,8
W 360 x 57,8	72,5	7,9	331,8	13,1	172	16143	902	1015	1113	129	200,00	39,0
W 360 x 64,0	81,7	7,7	320	13,5	203	17890	1031	1146	1885	186	285,00	37,4
W 360 x 72,0	91,3	8,6	319,8	15,1	204	20169	1152	1286	2140	210	322,00	33,5
W 360 x 79,0	101,2	9,4	320,4	16,8	205	22713	1283	1437	2416	236	362,00	30,7
W 410 x 38,8	50,3	6,4	381,4	8,8	140	12777	640	737	404	58	91,00	55,8
W 410 x 46,1	59,2	7	380,6	11,2	140	15690	779	891	514	73	115,00	50,9
W 410 x 53,0	68,4	7,5	381,2	10,9	177	18734	930	1052	1009	114	177,00	47,6
W 410 x 60,0	76,2	7,7	381,4	12,8	178	21707	1067	1201	1205	135	209,00	46,4
W 410 x 67,0	86,3	8,8	381,2	14,4	179	24678	1204	1363	1379	154	239,00	40,6
W 410 x 75,0	95,8	9,7	381	16	180	27616	1337	1519	1559	173	269,00	36,8
W 460 x 52,0	66,6	7,6	428,4	10,8	152	21370	950	1096	634	83	132,00	53,2
W 460 x 60,0	76,2	8	428,4	13,3	153	25652	1128	1292	796	104	163,00	50,6
W 460 x 68,0	87,6	9,1	428,2	15,4	154	29851	1301	1495	941	122	192,00	44,4
W 460 x 74,0	94,9	9	428	14,5	190	33415	1462	1657	1661	175	271,00	44,9
W 460 x 82,0	104,7	9,9	428	16	191	37157	1616	1836	1862	195	303,00	40,8
W 460 x 89,0	114,1	10,5	427,6	17,7	192	41105	1776	2019	2093	218	339,00	38,4
W 530 x 66,0	83,6	8,9	502,2	11,4	165	34971	1332	1558	857	104	166	53,7
W 530 x 72,0	91,6	9	502,2	10,9	207	39969	1526	1756	1615	156	245	53,1

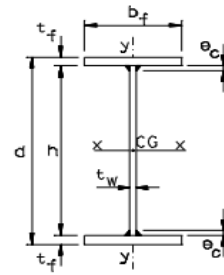
Continúa

Conclusão

Tipo	Área Bruta	to	ho	tf	bf	Ix	Wx	Zx	Iy	Wy	Zy	hw/t0
W 530 x 74,0	95,1	9,7	501,8	13,6	166	40969	1549	1805	1041	125	200	49,3
W 530 x 82,0	104,5	9,5	501,4	13,3	209	47569	1802	2059	2028	194	303	50,3
W 530 x 85,0	107,7	10,3	502	16,5	166	48453	1811	2100	1263	152	242	46,4
W 530 x 92,0	117,6	10,2	501,8	15,6	209	55157	2070	2360	2379	228	355	46,8
W 610 x 101,0	130,3	10,5	573,2	14,9	228	77003	2554	2923	2951	259	405	51,5
W 610 x 113,0	145,3	11,2	573,4	17,3	228	88196	2901	3313	3426	301	470	48,3
W 610 x 155,0	198,1	12,7	573	19	324	129583	4242	4749	10783	666	1023	42,6
W 610 x 174,0	222,8	14	572,8	21,6	325	147754	4797	5383	12374	761	1171	38,6

Fonte: USP 2014.

ANEXO C – Perfis CS (Tipo I)



Tipo	Área Bruta	t _o	h _o	t _f	b _f	I _x	W _x	Z _x	I _y	W _y	Z _y	h _w /t ₀
CS 150 x 25	27,6	6,3	134	8	120	1095	146	165	231	39	59,00	21,3
CS 150 x 29	31,1	6,3	131	9,5	120	1245	166	187	274	46	70,00	20,8
CS 150 x 31	26,5	4,75	187	6,3	140	1963	196	212	288	41	63,00	39,4
CS 150 x 37	31,1	4,75	184	8	140	2312	231	255	366	52	79,00	38,7
CS 150 x 45	35,2	4,75	181	9,5	140	2650	265	292	435	62	94,00	38,1
CS 200 x 39	34	6,3	184	8	140	2393	239	268	366	52	80,00	29,2
CS 200 x 41	38	6,3	181	9,5	140	2727	273	305	435	62	95,00	28,7
CS 200 x 50	46	6,3	175	12,5	140	3362	336	376	572	82	124,00	27,8
CS 200 x 61	49	8	175	12,5	140	3438	344	389	572	82	125,00	21,9
CS 250 x 43	58,2	8	168	16	140	4118	412	469	732	105	159,00	21,0
CS 250 x 49	38,3	4,75	234	8	170	4491	359	394	655	77	117,00	49,3
CS 250 x 52	41,9	6,3	234	8	170	4656	372	415	656	77	118,00	37,1
CS 250 x 63	50,8	8	231	9,5	170	5495	440	495	779	92	141,00	28,9
CS 250 x 66	60,5	8	225	12,5	170	6758	541	606	1025	121	184,00	28,1

Continúa

Continuação

Tipo	Área Bruta	to	ho	tf	bf	Ix	Wx	Zx	Iy	Wy	Zy	hw/t0
CS 250 x 76	71,8	8	218	16	170	8149	652	732	1311	154	235,00	27,3
CS 250 x 79	81,7	12,5	218	16	170	8538	683	785	1314	155	240,00	17,4
CS 250 x 84	91,1	12,5	212	19	170	9630	770	887	1559	183	283,00	17,0
CS 250 x 90	60,5	8	281	9,5	200	9499	633	710	1268	127	194,00	35,1
CS 250 x 95	72	8	275	12,5	200	11725	782	870	1668	167	254,00	34,4
CS 250 x 108	85,4	8	268	16	200	14202	947	1052	2134	213	324,00	33,5
CS 300 x 62	89,5	9,5	268	16	200	14442	963	1079	2135	214	326,00	28,2
CS 300 x 76	100,9	9,5	262	19	200	16449	1097	1231	2535	254	386,00	27,6
CS 300 x 92	108,8	12,5	262	19	200	16899	1127	1282	2538	254	390,00	21,0
CS 300 x 95	121,5	12,5	255	22,4	200	19092	1273	1447	2991	299	458,00	20,4
CS 300 x 102	70	8	281	9,5	250	11504	767	848	2475	198	301,00	35,1
CS 300 x 109	84,5	8	275	12,5	250	14310	954	1050	3256	260	395,00	34,4
CS 300 x 115	101,4	8	268	16	250	17432	1162	1280	4168	333	504,00	33,5
CS 300 x 122	105,5	9,5	268	16	250	17672	1178	1307	4169	334	506,00	28,2
CS 300 x 131	119,9	9,5	262	19	250	20206	1347	1498	4950	396	600,00	27,6
CS 300 x 138	127,8	12,5	262	19	250	20655	1377	1549	4952	396	604,00	21,0
CS 300 x 149	143,9	12,5	255	22,4	250	23433	1562	1758	5837	467	710,00	20,4
CS 350 x 89	93,4	9,5	325	12,5	250	20524	1173	1306	3258	261	398,00	34,2
CS 350 x 93	110,2	9,5	318	16	250	24874	1421	1576	4169	334	507,00	33,5

Continúa

Continuação

Tipo	Área Bruta	to	ho	tf	bf	Ix	Wx	Zx	Iy	Wy	Zy	hw/t0
CS 350 x 108	124,6	9,5	312	19	250	28454	1626	1803	4950	396	601,00	32,8
CS 350 x 112	134	12,5	312	19	250	29213	1669	1876	4953	396	606,00	25,0
CS 350 x 119	150,1	12,5	305	22,4	250	33169	1895	2125	5838	467	712,00	24,4
CS 350 x 128	162,5	12,5	300	25	250	35885	2051	2313	6515	521	793,00	24,0
CS 350 x 135	173	16	300	25	250	36673	2096	2391	6521	522	800,00	18,8
CS 350 x 144	105	8	375	12,5	300	31680	1584	1734	5627	375	569,00	46,9
CS 350 x 153	110,6	9,5	375	12,5	300	32339	1617	1787	5628	375	571,00	39,5
CS 350 x 161	131	9,5	368	16	300	39355	1968	2165	7203	480	728,00	38,7
CS 350 x 175	148,4	9,5	362	19	300	45161	2258	2483	8553	570	863,00	38,1
CS 350 x 182	159,3	12,5	362	19	300	46347	2317	2581	8556	570	869,00	29,0
CS 350 x 216	178,8	12,5	355	22,4	300	52813	2641	2931	10086	672	1022,00	28,4
CS 400 x 106	193,8	12,5	350	25	300	57279	2864	3195	11256	750	1139,00	28,0
CS 400 x 128	206	16	350	25	300	58529	2926	3303	11262	751	1147,00	21,9
CS 400 x 137	148,3	12,5	418	16	300	52834	2348	2629	7207	480	736,00	33,4
CS 400 x 146	165,5	12,5	412	19	300	60261	2678	2987	8557	570	871,00	33,0
CS 400 x 155	179,9	16	412	19	300	62301	2769	3136	8564	571	881,00	25,8
CS 400 x 165	199,2	16	405	22,4	300	70595	3138	3530	10094	673	1034,00	25,3
CS 400 x 176	214	16	400	25	300	76346	3393	3828	11264	751	1151,00	25,0
CS 400 x 185	226	19	400	25	300	77946	3464	3948	11273	752	1161,00	21,1
CS 400 x 201	239,6	22,4	400	25	300	79759	3545	4084	11287	752	1175,00	17,9
CS 400 x 209	262,5	19	387	31,5	300	92088	4093	4666	14197	946	1452,00	20,4
CS 400 x 248	275,7	22,4	387	31,5	300	93730	4166	4794	14211	947	1466,00	17,3

Continúa

Continuação

Tipo	Área Bruta	to	ho	tf	bf	Ix	Wx	Zx	Iy	Wy	Zy	hw/t0
CS 450 x 144	156,5	9,5	468	16	350	73730	2949	3231	11437	654	991,00	49,3
CS 450 x 154	170,5	12,5	468	16	350	76293	3052	3395	11441	654	998,00	37,4
CS 450 x 165	190,8	12,5	462	19	350	87240	3490	3866	13585	776	1182,00	37,0
CS 450 x 175	206,9	16	462	19	350	90116	3605	4052	13593	777	1193,00	28,9
CS 450 x 188	229,6	16	455	22,4	350	102403	4096	4572	16022	916	1401,00	28,4
CS 450 x 198	247	16	450	25	350	110952	4438	4966	17880	1022	1560,00	28,1
CS 450 x 209	260,5	19	450	25	350	113230	4529	5118	17890	1022	1572,00	23,7
CS 450 x 216	275,8	22,4	450	25	350	115812	4632	5290	17907	1023	1588,00	20,1
CS 450 x 227	303,5	19	437	31,5	350	134391	5376	6072	22534	1288	1969,00	23,0
CS 450 x 236	318,4	22,4	437	31,5	350	136755	5470	6235	22550	1289	1984,00	19,5
CS 450 x 280	329,8	25	437	31,5	350	138564	5543	6359	22566	1289	1998,00	17,5
CS 450 x 291	357,7	22,4	425	37,5	350	155013	6201	7082	26837	1534	2350,00	19,0
CS 450 x 321	403,6	22,4	411	44,5	350	175049	7002	8040	31837	1819	2777,00	18,3
CS 450 x 331	233,9	16	512	19	400	125087	4549	5084	20284	1014	1553,00	32,0
CS 500 x 172	260	16	505	22,4	400	142463	5180	5747	23911	1196	1824,00	31,6
CS 500 x 195	280	16	500	25	400	154583	5621	6250	26684	1334	2032,00	31,3
CS 500 x 207	295	19	500	25	400	157708	5735	6438	26695	1335	2045,00	26,3
CS 500 x 221	312	22,4	500	25	400	161250	5864	6650	26713	1336	2063,00	22,3
CS 500 x 233	344,5	19	487	31,5	400	187867	6832	7660	33628	1681	2564,00	25,6
CS 500 x 253	361,1	22,4	487	31,5	400	191139	6951	7861	33646	1682	2581,00	21,7
CS 500 x 263	373,8	25	487	31,5	400	193642	7042	8015	33663	1683	2596,00	19,5
CS 500 x 312	406,4	22,4	475	37,5	400	217349	7904	8951	40044	2002	3060,00	21,2
CS 500 x 324	418,8	25	475	37,5	400	219671	7988	9098	40062	2003	3074,00	19,0

Continúa

Continuação

Tipo	Área Bruta	to	ho	tf	bf	Ix	Wx	Zx	Iy	Wy	Zy	hw/t0
CS 500 x 333	459,3	22,4	461	44,5	400	246298	8956	10188	47510	2376	3618,00	20,6
CS 500 x 369	471,3	25	461	44,5	400	248420	9033	10326	47527	2376	3632,00	18,4
CS 500 x 378	199	12,5	568	16	400	128254	4275	4746	17076	854	1302,00	45,4
CS 550 x 228	241,9	16	562	19	400	151986	5066	5679	20286	1014	1556,00	35,1
CS 550 x 257	268	16	555	22,4	400	172948	5765	6407	23912	1196	1828,00	34,7
CS 550 x 269	288	16	550	25	400	187600	6253	6960	26685	1334	2035,00	34,4
CS 550 x 279	304,5	19	550	25	400	191759	6392	7187	26698	1335	2050,00	28,9
CS 550 x 290	354	19	537	31,5	400	228338	7611	8533	33631	1682	2568,00	28,3
CS 550 x 345	372,3	22,4	537	31,5	400	232726	7758	8778	33650	1683	2587,00	24,0
CS 550 x 358	417,6	22,4	525	37,5	400	264668	8822	9981	40049	2002	3066,00	23,4
CS 550 x 368	431,3	25	525	37,5	400	267803	8927	10160	40068	2003	3082,00	21,0
CS 550 x 395	470,5	22,4	511	44,5	400	300131	10004	11350	47515	2376	3624,00	22,8
CS 550 x 407	268,9	16	612	19	450	200828	6179	6893	28877	1283	1963,00	38,3
CS 550 x 417	298,4	16	605	22,4	450	228951	7045	7790	34041	1513	2307,00	37,8
CS 550 x 441	321	16	600	25	450	248644	7651	8471	37989	1688	2570,00	37,5
CS 550 x 498	339	19	600	25	450	254044	7817	8741	38003	1689	2585,00	31,6
CS 600 x 250	359,4	22,4	600	25	450	260164	8005	9047	38025	1690	2607,00	26,8
CS 600 x 281	395	19	587	31,5	450	303386	9335	10404	47874	2128	3242,00	30,9
CS 600 x 294	415	22,4	587	31,5	450	309117	9511	10697	47896	2129	3263,00	26,2
CS 600 x 305	446,8	19	575	37,5	450	347034	10678	11906	56986	2533	3849,00	30,3
CS 600 x 318	466,3	22,4	575	37,5	450	352421	10844	12187	57007	2534	3869,00	25,7
CS 600 x 332	526,2	22,4	561	44,5	450	400707	12329	13888	67637	3006	4576,00	25,0
CS 600 x 377	587,5	25	550	50	450	440599	13557	15391	76009	3378	5148,00	22,0

Continúa

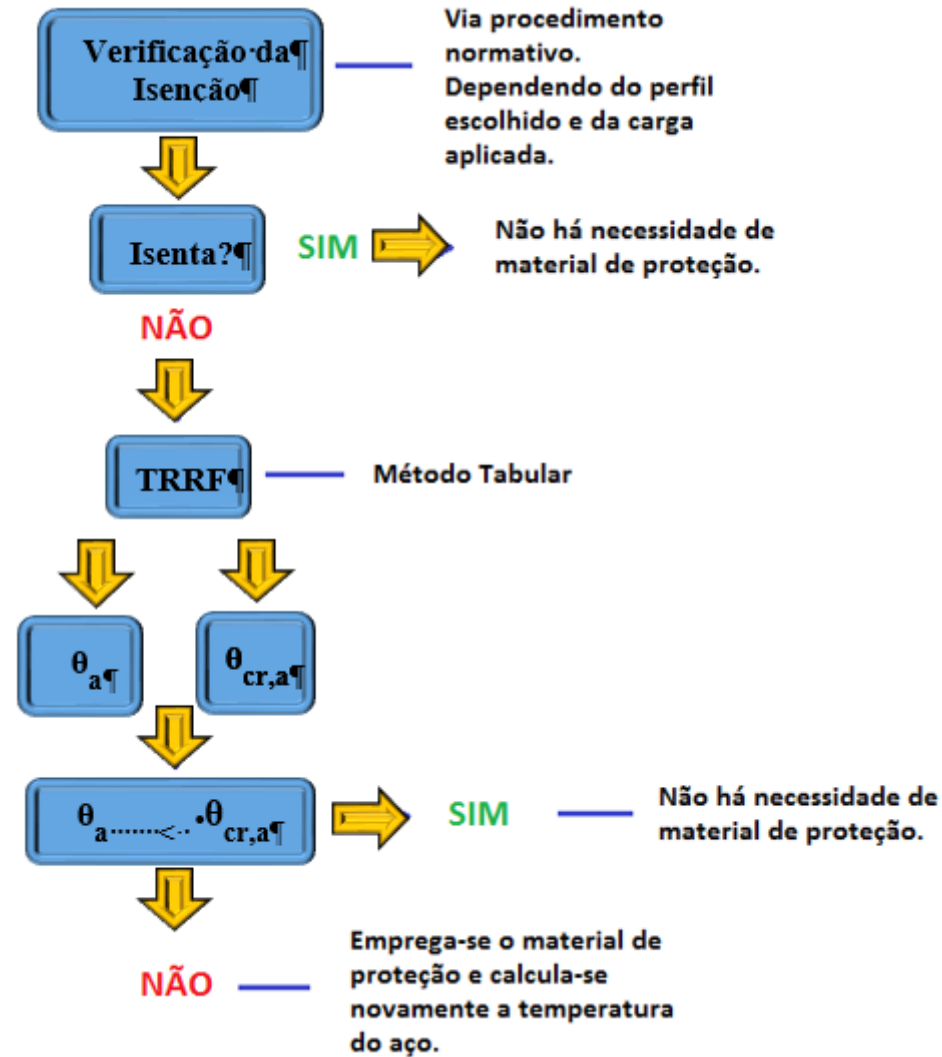
Conclusão

Tipo	Área Bruta	to	ho	tf	bf	Ix	Wx	Zx	Iy	Wy	Zy	hw/t0
CS 600 x 391	272,8	12,5	662	19	500	250564	7159	7839	39594	1584	2401,00	53,0
CS 600 x 402	295,9	16	662	19	500	259026	7401	8222	39606	1584	2417,00	41,4
CS 600 x 432	354	16	650	25	500	321513	9186	10128	52106	2084	3167,00	40,6
CS 600 x 446	373,5	19	650	25	500	328378	9382	10444	52120	2085	3184,00	34,2
CS 600 x 456	416,9	16	637	31,5	500	386651	11047	12152	65647	2626	3978,00	39,8
CS 600 x 483	436	19	637	31,5	500	393113	11232	12456	65661	2626	3995,00	33,5
CS 600 x 546	362	16	700	25	500	374379	9983	11023	52107	2084	3170,00	43,8
CS 650 x 305	383	19	700	25	500	382954	10212	11390	52123	2085	3188,00	36,8
CS 650 x 319	424,9	16	687	31,5	500	450034	12001	13204	65648	2626	3981,00	42,9
CS 650 x 330	445,5	19	687	31,5	500	458140	12217	13558	65664	2627	4000,00	36,2
CS 650 x 345	367,2	16	755	22,4	550	431525	10788	11860	62139	2260	3436,00	47,2
CS 650 x 361	395	16	750	25	550	469323	11733	12906	69349	2522	3829,00	46,9
CS 650 x 395	417,5	19	750	25	550	479870	11997	13328	69366	2522	3849,00	39,5
CS 650 x 409	464,4	16	737	31,5	550	565262	14132	15487	87372	3177	4812,00	46,1
CS 650 x 425	486,5	19	737	31,5	550	575270	14382	15894	87389	3178	4831,00	38,8
CS 650 x 437	428	16	800	25	600	578892	13621	14935	90027	3001	4551,00	50,0
CS 650 x 468	452	19	800	25	600	591692	13922	15415	90046	3002	4572,00	42,1
CS 650 x 484	503,9	16	787	31,5	600	698400	16433	17947	113427	3781	5720,00	49,2
CS 650 x 496	527,5	19	787	31,5	600	710587	16720	18412	113445	3782	5741,00	41,4
CS 650 x 525	436	16	850	25	600	656258	14584	16015	90029	3001	4554,00	53,1
CS 650 x 593	461,5	19	850	25	600	671611	14925	16557	90049	3002	4577,00	44,7

Fonte: USP 2014.

ANEXO D: Fluxograma de verificação da temperatura

1



Fonte: Almeida, 2018.