



ESTEFANE BISPO BARRETO

**ANÁLISE ESTRUTURAL EM EDIFICAÇÃO HÍBRIDA COM  
PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO EM ELEMENTOS DE AÇO**

Trabalho de Conclusão de Curso

ESTEFANE BISPO BARRETO

**ANÁLISE ESTRUTURAL EM EDIFICAÇÃO HÍBRIDA COM  
PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO EM ELEMENTOS DE AÇO**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação  
em Engenharia Civil do Centro de Ciências  
Exatas e Tecnologia da Universidade Federal  
de Sergipe, como requisito parcial à obtenção  
do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Emerson Figueiredo dos Santos



**ATA DE DEFESA**

Estefane Bispo Barreto

**Análise Estrutural em Edificação Híbrida com Proteção contra Incêndio em Elementos de Aço**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Sergipe (UFS) como requisito para o título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em: **25 de Novembro de 2022**

<b>Banca Examinadora</b>	<b>Nota</b>
Orientador(a): Prof. Dr. Emerson Figueiredo dos Santos (UFS)	– 10,0
Examinador(a): Prof. Dr. Higor Sérgio Dantas de Argolo (UFS)	– 10,0
Examinador(a): Prof <sup>a</sup> . Dra. Denise Conceição de Gois Santos Michelin (UFS)	– 10,0
<b>Média Final:</b>	<b>10,0</b>

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** EMERSON FIGUEIREDO DOS SANTOS  
Data: 14/12/2022 10:24:18-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Emerson Figueiredo dos Santos (UFS)  
Assinatura do(a) Orientadora(a)

## AGRADECIMENTOS

*“É feliz quem a Deus se confia” Sl 1*

A Deus pelo que Ele é e pelo que Ele faz, por tudo que tenho e por tudo que sou; por olhar em tudo ao meu redor e sempre enxergá-lo, através da simplicidade, sob a proteção e intercessão poderosíssima da Virgem Maria.

À minha família, minha base para todos os dias. Meus pais, irmão, tios e tias, primos avós e bisavós que sempre vibraram todas as conquistas ao meu lado.

Ao professor orientador, Emerson Figueiredo, por todo o empenho e auxílio neste trabalho e nas outras quatro disciplinas ministradas, durante a graduação.

Aos demais mestres que passaram por minha trajetória educacional, desde o ensino maternal até a graduação, em especial ao professor Jorge Carvalho Costa.

Ao frei Cidmário, pela permissão e concessão dos arquivos da edificação utilizada para estudo (Igreja da paróquia Nossa Senhora do Carmo e Santa Teresinha).

Aos centros educacionais onde estudei, minha eterna gratidão a todos que compõem o quadro de funcionários. Escolinha São Sebastião, CEBAPM, Colégio João XXIII, Colégio Monteiro Lobato e UFS, muito obrigada!

Aos amigos queridos da infância e da graduação, agradeço pela fiel companhia e partilhas, em especial a Mika, Luiz, Juan, Dani e Dayana. Esses 5 anos foram mais leves com vocês!

Aos que aqui não foram citados diretamente, mas sabem verdadeiramente como são importantes para mim!

Por fim, louvo a Deus em todo o tempo, rendendo graças a Ele por tudo e por tanto!

## RESUMO

Com o avanço das tecnologias, a construção civil agregou a sua área novos métodos de dimensionamentos, possibilitando previsões, desde a incompatibilidade de projetos até mesmo a simulação de incêndios na edificação, analisando o seu comportamento, mediante tal situação. Junto aos dimensionamentos usuais, a ABNT também agregou as normas de resistência ao fogo como obrigatórias nas edificações, atendendo todos os requisitos mínimos listados pelas NBR14323:2013 e NBR 14432:2001, em virtude do aumento de ocorrências de incêndios em todo o país. Com isso, o presente trabalho teve, por objetivo, análise linear elástica do comportamento estrutural de uma Igreja, construída em estrutura híbrida, sob situação de incêndio simulada pelo *software* Robot, a fim de analisar, também o seu comportamento adicionando um material de proteção térmica, em seus elementos estruturais. O material escolhido para proteção térmica foi no estudo de caso foi a argamassa projetada Blaze Shield II, em vista do seu baixo custo e fácil manuseio, se comparado aos demais matérias de proteção existentes no mercado. Na comparação, foi possível perceber que a argamassa consegue isolar os perfis termicamente de maneira considerável, reduzindo a temperatura que chega no perfil em cerca de 90% da temperatura dos gases quentes do compartimento em incêndio. Desse modo, concluiu-se que a edificação sem material de proteção contra fogo não atende ao TRRF exigido por norma, uma vez que seus elementos perderiam a resistência ao escoamento nos primeiros 5 minutos de início do incêndio. Sendo assim, seria necessária uma adequação para que a edificação estudada oferecesse maior segurança para seus usuários.

**Palavras-chave:** Estruturas híbridas; fogo; Sistemas de proteção contra incêndio; TRRF.

## ABSTRACT

With the advancement of technologies, civil construction has added new dimensioning methods to its area, enabling predictions, from the incompatibility of projects to even the simulation of fires in the building, analyzing its behavior, in such a situation. Along with the usual dimensions, ABNT also added fire resistance standards as mandatory in buildings, meeting all the minimum requirements listed by NBR14323:2013 and NBR 14432:2001, due to the increase in fire occurrences across the country. With this, the present work had, as objective, linear elastic analysis of the structural behavior of a Church, built in mixed structure, under fire situation simulated by the Robot software, in order to analyze, also its behavior adding a material of thermal protection , in its structural elements. The material chosen for thermal protection in the case study was the mortar designed Blaze Shield II, in view of its low cost and easy handling, compared to other protection materials on the market. In the comparison, it was possible to see that the mortar is able to thermally insulate the profiles considerably, reducing the temperature that reaches the profile by about 90% of the temperature of the hot gases in the compartment in fire. Thus, it was concluded that the building without fire protection material does not meet the TRRF required by the standard, since its elements would lose flow resistance in the first 5 minutes after the fire started. Therefore, an adaptation would be necessary for the studied building to offer greater security for its users.

Keywords: Híbrido Structures; fire; Fire protection systems; TRRF.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
3.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	4
3.2	O Fogo .....	4
3.3	Transferências de calor .....	5
3.3.1	Condução .....	5
3.3.2	Convecção.....	5
3.3.3	Radiação Térmica .....	5
3.4	Transferências de calor em um edifício em situação de incêndio .....	5
3.5	Fases do incêndio.....	6
3.6	Curvas de incêndio .....	7
3.7	Tempo de resistência ao fogo (TRF) .....	8
3.8	Tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) .....	8
3.8.1	Cálculo do TRRF.....	8
3.8.1.1	Método Tabular .....	9
3.8.1.2	Método do tempo equivalente .....	12
3.9	Sistemas de proteção contra incêndio.....	15
3.9.1	Sistema de proteção ativa .....	15
3.9.2	Sistemas de proteção passiva.....	15
3.9.2.1	Materiais de proteção térmica .....	15
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA PARA O DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO.....</b>	<b>18</b>
4.1	Análise linear-elástica.....	18
4.2	Tensão Última.....	18
4.3	Ação Térmica no concreto armado e nos perfis de aço .....	18

4.3.1	O aço em situação de incêndio .....	18
4.3.2	Fluxo de calor .....	20
4.3.3	O Concreto em situação de incêndio .....	22
4.4	Estratégia de análise .....	24
4.5	<i>Software Robot – Autodesk</i> .....	24
<b>5</b>	<b>ESTUDO DE CASO – ANLISE DO COMPORTAMENTO DA ESTRUTURA HÍBRIDA EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO, MODELADO NO SOFTWARE ROBOT</b>	<b>26</b>
5.1	Descrição da edificação .....	26
5.2	Descrição estrutural da edificação .....	28
5.3	Cálculo do TRRF.....	31
5.4	Temperatura dos perfis de aço “críticos” em função do tempo em situação de incêndio sem proteção térmica .....	32
5.5	Dimensionamento do material de proteção contra incêndio.....	36
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>39</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>41</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Curva Temperatura-Tempo de um incêndio real. ....	6
Figura 2-Curva incêndio-padrão dos gases quentes .....	7
Figura 3 – Argamassa projetada em perfil de aço. ....	16
Figura 4 – Pintura intumescente aplicada em perfil de aço e sua expansão em contato com o fogo.....	17
Figura 5 – Esquema de enclausuramento de pilar de aço com gesso acartonado. ....	17
Figura 6 - Interface do Software.....	25
Figura 7 - Ferramentas do Software Robot .....	25
Figura 8 - Mapa da localização da edificação estudada .....	26
Figura 9- Fachada da edificação.....	26
Figura 10 - Planta de locação das fundações, pilares e vigas baldrame.....	27
Figura 11 - Planta de forma da primeira laje .....	27
Figura 12 - Corte transversal da edificação .....	28
Figura 13 - Detalhes da treliça de aço .....	28
Figura 14 - Detalhes dos pilares, arcos e vigas de aço da construção .....	29
Figura 15 - Detalhes dos elementos de aço da estrutura.....	29
Figura 16 - Seção transversal modelada no <i>Robot</i> .....	30
Figura 17 - Modelagem 3D, interligando os pórticos, no <i>Robot</i> .....	31
Figura 18 - Tensões máximas e mínimas na estrutura com a COMB01 (P.P. + S.C.).....	33
Figura 19 – Valores de tensões vistas no pórtico transversal com a COMB01.....	34
Figura 20 - Tensões máximas e mínimas na estrutura com a COMB02 (P.P+ S.C.+ C.T.) ....	34
Figura 21 - Pórtico transversal com a COMB02 .....	34
Figura 22 - Aplicação da argamassa projetada em perfis de aço.....	38
Figura 23 - Aspecto da textura da argamassa aplicada no perfil de aço.....	38

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Transformações sofridas no concreto com o aumento da temperatura. ....	23
Quadro 2 - Elementos estruturais utilizados na construção da igreja.....	30
Quadro 3 - Dados da argamassa projetada Blaze shield II.....	36

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Classificação das construções quanto ao seu uso .....	9
Tabela 2-Determinação do Tempo requerido de resistência ao fogo (NBR14432). .....	12
Tabela 3 - Cargas de incêndio específicas, conforme ocupação da edificação .....	13
Tabela 4 – Fatores de redução para o aço.....	19
Tabela 5 – Fatores de redução da resistência à compressão do concreto com o aumento da temperatura. ....	22
Tabela 8 - Variação das tensões máximas e mínimas em função da temperatura.....	35

## LISTA DE SIGLAS

Exemplo:

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRACOPEL	Associação Brasileira de Conscientização para os Perigos da Eletricidade
CBMSE	Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Sergipe
NBR	Norma Brasileira
TRF	Tempo de Resistência ao Fogo
TRRF	Tempo Requerido de Resistência ao Fogo

## LISTA DE SÍMBOLOS

### LETRAS ROMANAS MAIÚSCULAS

$K$ =coeficiente que leva em consideração os parâmetros térmicos dos elementos de vedação da edificação;

$M$ =fator de correção, levando em conta o material da estrutura.

$W$ =fator de ventilação do ambiente, relacionando sua altura;

### LETRAS ROMANAS MINÚSCULAS

$c_a$ = Calor específico do aço;

$c_m$ = Calor específico do material de revestimento contra fogo;

$f_{ck}$ =Resistência à compressão do concreto, em condições ambientes;

$f_{c,\theta}$ = Resistência à compressão do concreto, na temperatura  $\theta$ ;

$f_y$ =Resistência ao escoamento do aço, em condições ambientes;

$f_{y,\theta}$ = Resistência ao escoamento do aço, na temperatura  $\theta$ ;

$k_{c,\theta}$ = Fator de redução da resistência à compressão do concreto, na temperatura  $\theta$ .

$k_{y,\theta}$ = Fator de redução da resistência ao escoamento do aço, na temperatura  $\theta$ ;

$\rho_a$ = Massa específica do material de revestimento contra fogo;

$t_{eq}$ = tempo equivalente;

$q_{fi}$ =carga de incêndio específica;

$(\frac{u_m}{A})$ = Fator de massividade do perfil, dado pela razão entre o perímetro da seção transversal ( $u$ ) e a sua área ( $A$ );

$u_m$ = Perímetro do material que reveste o perfil de aço;

### LETRAS GREGAS

$\alpha_c$ =coeficiente de transferência de calor por convecção;

$\gamma_n$ = coeficiente que leva em consideração se a edificação possui medidas de proteção contra incêndio;

$\gamma_s$ = coeficiente de segurança que leva em conta o risco de início e propagação de incêndio na edificação;

$\varepsilon_{res}$ = Emissividade resultante

$\Delta t$ = Intervalo de tempo, para cada passo;

$\theta$  = Temperatura;

$\theta_a$  = Temperatura da superfície do perfil de aço;

$\theta_g$  = Temperatura dos gases;

$\lambda_m$  = Condutividade térmica do material de revestimento contra fogo

$\varphi$  = Fluxo de calor por unidade de área;

$\varphi_c$  = Componente do fluxo de calor devido a convecção;

$\varphi_r$  = Componente do fluxo de calor devido a radiação;

## 1 INTRODUÇÃO

A história da construção civil traz consigo grandes avanços em tecnologia e inovação, deixando o atual cenário de obras e projetos cada vez mais completo e rico em detalhes cruciais para as edificações, como, por exemplo, modelagens, novos métodos construtivos, compatibilidade de projetos e diversas projeções dos comportamentos dos edifícios após sua construção e com seu devido uso. Entre os vários parâmetros que podem ser analisados previamente, via *softwares* voltados para esta área, vale evidenciar o comportamento das estruturas quando submetidas a esforços atípicos, tais como abalos sísmicos, efeitos climáticos, situações de incêndio, dentre outras ocorrências incomuns. Tais esforços advindos desses efeitos podem afetar drasticamente e comprometer a integridade estrutural da edificação.

Datado do ano de 64 d.C., na cidade de Roma, o primeiro grande incêndio já registrado em documentos, acarretou em milhares de mortos e cerca de 75% da cidade destruída pelo ocorrido, fez com que fosse lá também criado o primeiro sistema de combate a incêndio, com vigilantes que rondavam a cidade, em patrulha, com o intuito de alertar a população, caso houvesse algum foco de incêndio local (GERKEN, 2007). A partir deste evento, foi iniciada a criação e evolução, com o decorrer do tempo, dos sistemas de proteção de incêndio, aprimorando suas condições, a fim de buscar, primeiramente, evitá-lo, através de dimensionamentos seguros, ou fazer com que a construção mantenha sua integridade estrutural, sem comprometer toda a edificação, possibilitando evacuação dos usuários durante o sinistro, sem comprometer vidas.

Com a construção iniciada no ano de 1960, o Edifício Wilton Paes, localizado no Largo do Paçandu, na cidade de São Paulo, revolucionava a arquitetura e engenharia da época, devido sua concepção estrutural, mesclando aço e concreto e estrutura assimétricas, e arquitetônica, apresentando fachada em pele de vidro em todo o prédio. Composto por 24 andares, o edifício já foi sede de uma companhia de vidros, da Caixa Econômica Federal e, até mesmo, da Polícia Federal. Porém, desde 2005 até o seu colapso, o prédio estava ocupado de maneira irregular, sem manutenções preventivas ou corretivas, deixando-o suscetível a possíveis patologias e riscos (PACHECO; COUTO; HELENE, 2019).

Em 1º de Maio de 2018, durante a madrugada, deu início ao incêndio que, em 80 minutos, já havia tomado pelas chamas. Devido as suas características construtivas, colapsou, deixando 7 vítimas e mais de 90 feridos. Após o colapso, foram feitas análises periciais que apontaram possíveis causas do desmoronamento de maneira repentina, uma vez que alguns edifícios

semelhantes já passaram por situações de incêndio e tiveram um maior tempo de vitalidade estrutural ou até mesmo estão habitados até os dias atuais.

No que diz respeito aos ensaios feitos, tanto o aço quanto o concreto apresentaram resistências comuns para as construções daquela época, sem nenhuma anomalia. A partir disso, a principal hipótese da causa do colapso do edifício se deu pela torção gerada através das altas temperaturas, tendo em vista a estrutura assimétrica do prédio e os efeitos causados nela devido a elevação da temperatura de maneira brusca (PACHECO; COUTO; HELENE,2019)

Após muitas ocorrências em situações de incêndio com comprometimento das estruturas das edificações no Brasil, em 2001, a ABNT deu vigência a NBR 14432 – Exigências De Resistência Ao Fogo De Elementos Construtivos De Edificações, a fim de que os novos projetos e execuções atendam os requisitos e parâmetros adotados a favor da segurança dos indivíduos que habitem e/ou transitem nas edificações. Em vista disso, ainda é válido pontuar que, apesar da vigência das normas sobre tal problemática, pouco se discute ou se trata de cargas térmicas e demais fatores que podem comprometer as propriedades mecânicas das estruturas em situação de incêndio. Sendo assim, diante do exposto, é notório que tal tema deve ser visto com maior atenção pelos profissionais da área, uma vez que se trata de algo que compromete toda a população que venha a depender de uma edificação em risco.

Desse modo, o presente trabalho tem por objetivo analisar um estudo de caso de edificação com estrutura híbrida (concreto armado e perfis de aço), a fim de observar o seu comportamento estrutural, mediante a simulação de uma situação de incêndio, através de modelagem computacional; e apresentar soluções específicas para o caso, a fim de que tal construção não se torne um risco, se ocorrido tal sinistro.

## 2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O presente trabalho tem como objetivos específicos:

- Estudar as normas e exigências técnicas sobre a temática das estruturas híbridas em situação de incêndio;
- Estudar o comportamento do fogo, bem como as transferências de calor e os danos estruturais em edificações que podem ser causados através do sinistro;
- Analisar o comportamento da estrutura estudada em condições normais e sob situação de incêndio;
- Comparar tal comportamento acrescentando um sistema de proteção contra fogo;
- Observar e apontar possíveis soluções para dado caso.

### **3 REVISÃO DA LITERATURA**

#### **3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS**

Segundo a NBR 14432(ABNT,2001), numa edificação, a segurança contra incêndios tem por objetivos principais, reduzir os danos estruturais relacionados à sua resistência mecânica e, conseqüentemente, reduzir os riscos de vida durante a ocorrência do sinistro antes e durante as operações de combate, além de evitar a propagação do incêndio para demais compartimentos adjacentes à construção.

Dessa forma, através dos requisitos normativos, parâmetros e condições específicas exigidas pela norma, busca-se manter a integridade estrutural dos elementos de estrutura da edificação, isto é, manter as suas propriedades com o propósito de assegurar a condição de segurança, a qual trata que os esforços solicitantes não devem ultrapassar os esforços de resistência. Com um correto dimensionamento estrutural, auxiliado de um sistema de proteção, ainda que em chamas, a edificação é capaz de oferecer, durante um determinado tempo, tal segurança para evacuação e demais operações profissionais. Vale, também, evidenciar que é possível ter uma estrutura de aço segura sem a necessidade de um sistema de proteção contra fogo, ajustando apenas os perfis na fase de dimensionamento, porém o custo de implantação de uma construção nesse padrão torna-se oneroso, se comparado com a edificação dimensionada junto com o sistema de proteção para auxiliá-la.

#### **3.2 O Fogo**

Tal elemento, resultante do processo de combustão, é o responsável pelo aumento da temperatura no meio, aquece os elementos e, conseqüentemente, modifica as suas propriedades mecânicas. Para que o fogo se mantenha, é necessário que alguns componentes, chamados combustíveis e comburentes, estejam presentes no meio e são eles que influenciam na sua propagação. Através de uma energia inicial de ignição, a reação em cadeia entre os componentes implica no fenômeno da combustão, provocando o fogo e iniciando a ocorrência de um incêndio, havendo transferências de calor no meio.

### **3.3 Transferências de calor**

#### **3.3.1 Condução**

O calor transmitido dessa forma se dá por meio de um corpo sólido que tem uma região exposta por alta temperatura e, buscando o equilíbrio térmico, propaga o calor para a região de baixa temperatura.

#### **3.3.2 Convecção**

Ocorrida em gases e líquidos, essa transferência ocorre devido ao aumento do volume dos gases que por consequência, reduzem sua densidade e passam a ocupar a região superior do ambiente, ocasionando o contato entre as superfícies dos elementos estruturais elevados e os gases quentes.

#### **3.3.3 Radiação Térmica**

Nesse modo de propagação de calor, não é necessário ter contato entre os elementos, uma vez que é dado pela propagação de ondas magnéticas em gases ou, até mesmo no vácuo. Desse modo, para Rodrigues e Oliveira (2021), a radiação é o principal mecanismo de transferência de calor para temperaturas elevadas.

### **3.4 Transferências de calor em um edifício em situação de incêndio**

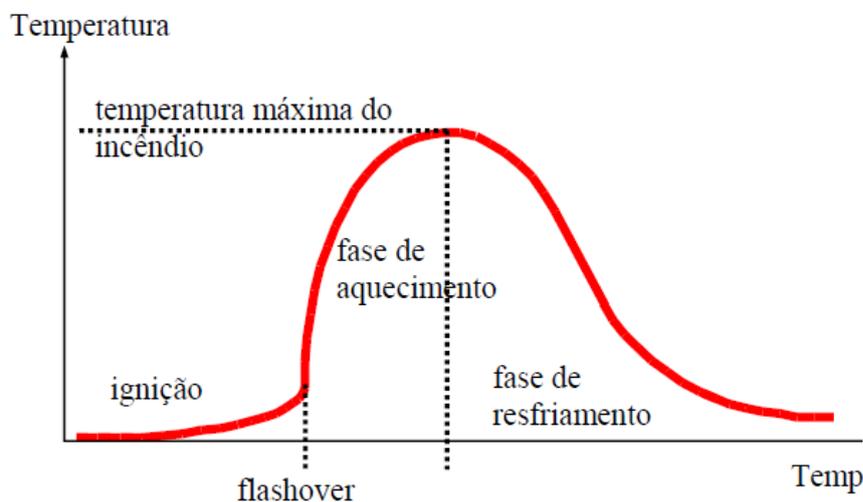
Num edifício, é possível ocorrer as três formas de transferência de calor citadas acima, simultaneamente. Partindo do pressuposto que o foco do incêndio ocorre em um compartimento, com elementos estruturais que podem ter lados expostos e não expostos às chamas, tais transferências se dão através da elevação da temperatura em paredes e pilares expostos ao foco de incêndio, que por condução, transmitem o calor para a face externa não exposta ao fogo; com a elevação da temperatura do meio, eleva-se, também, a temperatura dos gases, formando as correntes de convecção, transferindo calor para a superfície exposta dos elementos que estão na zona superior do compartimento em chamas, aquecendo lajes e vigas, por exemplo: a radiação dos corpos e gases expostos ao calor aumenta e passa a transferir o calor para corpos não expostos. Dessa forma, através das transferências de calor, há a propagação do fogo e elevação da temperatura do meio e dos elementos que estão nele.

### 3.5 Fases do incêndio

Para Caldas (2008), da ignição à extinção, a evolução de um incêndio típico pode ser subdividida em fases que apresentam três estados bem definidos.

Na *fase inicial de ignição*, há a possibilidade de o corpo em chamas propagar calor para os demais elementos a ponto de evoluir o incêndio, através de uma sucessão de ignições ou pode ocorrer a queima completa do objeto em chamas sem propagação de calor. Vale destacar que nos locais domésticos essa ignição tem como principais fatores as instalações elétricas e de gás sobrecarregadas ou irregulares, bem como chamas expostas (cigarros, velas, fogões, palitos de fosforo, dentre outros).

Caso não haja extinção do incêndio na fase de ignição, há a evolução para a *fase de aquecimento*. É nessa fase que ocorrem as propagações de calor citadas anteriormente, e juntamente com a presença do gás oxigênio que adentra o compartimento através das aberturas (janelas e portas), acarretam, conseqüentemente, na elevação brusca da temperatura. A combustão de maneira simultânea dos elementos presentes no compartimento resulta na produção de gases tóxicos e inflamáveis. O momento em que todos esses gases se inflamam e há a elevação brusca da temperatura é chamado de *flashover*. A partir desse momento, o incêndio pode envolver toda a superfície do compartimento e ainda se alastrar por mais locais.



Após toda a potência de temperaturas e alastramento do incêndio na fase de aquecimento, há a *fase de resfriamento*. Nesse período, há a queda de temperatura devido a redução dos combustíveis, impossibilitando as reações de combustão em cadeia. Desse modo, assim que combustível ou comburente se esgotam, há a extinção do incêndio.

A Figura 1 apresenta, de forma gráfica, as fases do incêndio com a sucessão do tempo.

Figura 1 – Curva Temperatura-Tempo de um incêndio real.

Fonte: Silva (2004)

Vale ainda ressaltar que se o incêndio for extinto antes do *flashover*, a curva no gráfico acima terá comportamento diferente.

### 3.6 Curvas de incêndio

Existem muitos parâmetros e variáveis para analisar a evolução da temperatura dos gases quentes com o tempo. Para tanto, a fim de simplificar tal análise e padronizá-la para comparações experimentais, foram criadas as chamadas *curvas de incêndio-padrão*. Nelas são expressas de forma padronizada a elevação padronizada da temperatura dos gases em função do tempo em um compartimento em situação de incêndio. Vale, ainda, ressaltar que a curva de incêndio-padrão possui apenas a ascensão da temperatura com o tempo, ou seja, não se trata de uma situação real, uma vez que numa situação de incêndio existem características que variam com cada caso (COSTA, 2002). Essa curva é adotada pela NBR 14432 (ABNT,2001) e também é utilizada em normas internacionais, como a EN1991-1-2. Tal padronização tem por finalidade, ter uma base universal comparativa entre os experimentos.

Sendo assim, a curva de temperatura dos gases quentes é dada pela expressão:

$$\theta_g = \theta_0 + 345 \cdot \log (8 \cdot t + 1) \quad [ 1 ]$$

Onde:

$\theta_g$  = Temperatura dos gases, em °C, no instante t;

$\theta_0$  = Temperatura ambiente, antes do aquecimento, em °C (usualmente, utiliza-se  $\theta_0=20^\circ\text{C}$ );

t = tempo, em min.

Figura 2-Curva incêndio-padrão dos gases quentes

Fonte: Silva (2004)

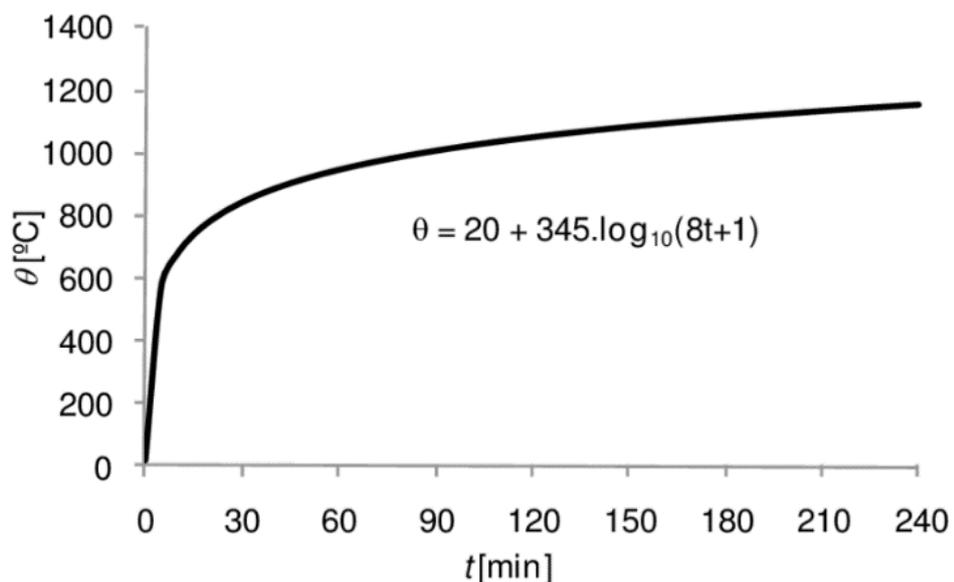
### 3.7 Tempo de resistência ao fogo (TRF)

Este parâmetro se refere ao tempo máximo que um elemento estrutural resiste, sob os efeitos de um incêndio padrão, aos esforços solicitantes, antes do seu colapso (COSTA E SILVA, 2006)

### 3.8 Tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF)

Por sua vez, o Tempo requerido de resistência ao fogo é um parâmetro da NBR 14432(ABNT, 2001), no que refere ao tempo mínimo que uma estrutura deve resistir aos esforços, quando submetidos a um incêndio padrão, a fim a de assegurar os usuários do edifício (COSTA E SILVA,2006). Além da Norma Brasileira, a legislação regional do Corpo de Bombeiros também é responsável por produzir Instruções Técnicas específicas para cada região em questão.

#### 3.8.1 Cálculo do TRRF



Há dois métodos para calcular o Tempo requerido de resistência ao fogo: o método tabular, também chamado de método simplificado, no qual é encontrado um valor genérico, através da tabela A1, disponibilizada pela NBR 14432 (ABNT,2001), analisando as características e finalidades da construção; e o método do tempo equivalente, onde tal tempo é calculado, através

de uma equação, com maior precisão, devido aos parâmetros de cálculo que dependem de características mais específicas da edificação.

### 3.8.1.1 Método Tabular

A priori, é necessário determinar qual a classificação da edificação, levando em consideração o seu uso e ocupação. Para isso, utiliza-se a Tabela 1, Anexo B (normativo da NBR14432), apresentado a seguir.

Tabela 1- Classificação das construções quanto ao seu uso

**Anexo B (normativo)**  
**Classificação das edificações quanto à sua ocupação**

**Tabela B.1 - Classificação das edificações quanto à sua ocupação**

Grupo	Ocupação/uso	Divisão	Descrição	Exemplos
A	Residencial	A-1	Habitações unifamiliares	Casas térreas ou assobradadas, isoladas ou não
		A-2	Habitações multifamiliares	Edifícios de apartamento em geral
		A-3	Habitações coletivas	Pensionatos, internatos, mosteiros, conventos, residenciais geriátricos
B	Serviços de hospedagem	B-1	Hotéis e assemelhados	Hotéis, motéis, pensões, hospedarias, albergues, casas de cômodos
		B-2	Hotéis residenciais	Hotéis e assemelhados com cozinha própria nos apartamentos (incluem-se apart-hotéis, hotéis residenciais)
C	Comercial varejista	C-1	Comércio em geral, de pequeno porte	Armarinhos, tabacarias, mercearias, fruteiras, butiques e outros
		C-2	Comércio de grande e médio portes	Edifícios de lojas, lojas de departamentos, magazines, galerias comerciais, supermercados em geral, mercado e outros
		C-3	Centros comerciais	Centro de compras em geral ( <i>shopping centers</i> )

D	Serviços profissionais pessoais e técnicos	D-1	Locais para prestação de serviços profissionais ou condução de negócios	Escritórios administrativos ou técnicos, consultórios, instituições financeiras (que não estejam incluídas em D-2), repartições públicas, cabeleireiros laboratórios de análises clínicas sem internação, centro profissionais e outros
		D-2	Agências bancárias	Agencias bancárias e assemelhados
		D-3	Serviços de reparação (exceto os classificados em G e I)	Lavanderias, assistência técnica, reparação e manutenção de aparelhos eletrodomésticos, chaveiros, pintura de letreiros e outros
E	Educação e cultura física	E-1	Escolas em geral	Escolas de primeiro, segundo e terceiro graus, cursos supletivos e pré-universitário e outros
		E-2	Escolas especiais	Escolas de artes e artesanato, de línguas, de cultura geral, de cultura estrangeira e outras
		E-3	Espaço para cultura física	Locais de ensino e/ou práticas de artes marciais ginástica (artística, dança musculação e outros) esportes coletivos (tênis, futebol e outros que não estejam incluídos em F-3), sauna, casas de fisioterapia e outros
		E-4	Centros de treinamento profissional	Escolas profissionais em geral
		E-5	Pré-escolas	Creches, escolas maternas, jardins-de-infância
		E-6	Escolas para portadores de deficiências	Escolas para excepcionais, deficientes visuais e auditivos e outros
F	Locais de reunião pública	F-1	Locais onde há objetos de valor inestimável	Museus, centros de documentos históricos e outros
		F-2	Templos e auditórios	Igrejas, sinagogas, templos e auditórios em geral
		F-3	Centros esportivos	Estádios, ginásios e piscinas cobertas com arquibancadas, arenas em geral
		F-4	Estações e terminais de passageiros	Estações rodoviárias, aeroportos, estações de transbordo e outros
		F-5	Locais de produção e apresentação de artes cênicas	Teatros em geral cinemas, óperas, auditórios de estúdios de rádio e televisão e outros

Tabela B.1 (conclusão)

Grupo	Ocupação/uso	Divisão	Descrição	Exemplos
F	Locais de reunião pública	F-6	Clubes sociais	Boates e clubes noturnos em geral, salões de baile, restaurantes dançantes, clubes sociais e assemelhados
		F-7	Construções provisórias	Circos e assemelhados
		F-8	Locais para refeições	Restaurantes, lanchonetes, bares, cafés, refeitórios, cantinas e outros
G	Serviços automotivos	G-1	Garagens sem acesso de público e sem abastecimento	Garagens automáticas
		G-2	Garagens com acesso de público e sem abastecimento	Garagens coletivas sem automação, em geral, sem abastecimento (exceto veículos de carga e coletivos)
		G-3	Locais dotados de abastecimento de combustível	Postos de abastecimento e serviço, garagens (exceto veículos de carga e coletivos)
		G-4	Serviços de conservação, manutenção e reparos	Postos de serviço sem abastecimento, oficinas de conserto de veículos (exceto de carga e coletivos), borracharia (sem recauchutagem)
		G-5	Serviços de manutenção em veículos de grande porte e retificadoras em geral	Oficinas e garagens de veículos de carga e coletivos, máquinas agrícolas e rodoviárias, retificadoras de motores

H	Serviços de saúde e institucionais	H-1	Hospitais veterinários e assemelhados	Hospitais, clínicas e consultórios veterinários e assemelhados (inclui-se alojamento com ou sem adestramento)
		H-2	Locais onde pessoas requerem cuidados especiais por limitações físicas ou mentais	Asilos, orfanatos, abrigos geriátricos, reformatórios sem celas e outros
		H-3	Hospitais e assemelhados	Hospitais, casa de saúde, prontos-socorros, clínicas com internação, ambulatórios e postos de atendimento de urgência, postos de saúde e puericultura e outros
		H-4	Prédios e instalações vinculadas às forças armadas, polícias civil e militar	Quartéis, centrais de polícia, delegacia distritais, postos policiais e outros
		H-5	Locais onde a liberdade das pessoas sofre restrições	Hospitais psiquiátricos, reformatórios, prisões em geral e instituições assemelhadas
I	Industrial, comercial de médio e alto risco, atacadista	I-1	Locais onde as atividades exercidas e os materiais utilizados ou depositados apresentem médio potencial de incêndio	Locais onde a carga de incêndio não atinja $1\ 200\ \text{MJ/m}^2$ . Ver tabela C.1
		I-2	Locais onde as atividades exercidas e os materiais utilizados e/ou depositados apresentem grande potencial de incêndio	Locais onde a carga de incêndio ultrapassa $1\ 200\ \text{MJ/m}^2$ . Ver tabela C.1
J	Depósitos	J-1	Depósitos de baixo risco de incêndio	Depósitos sem risco de incêndio expressivo. Edificações que armazenam tijolos, pedras, areias, cimentos, metais e outros materiais incombustíveis
		J-2	Depósitos de médio e alto risco de incêndio	Depósitos com risco de incêndio maior. Edificações que armazenam alimentos, madeira, papel, tecidos e outros

Fonte: ABNT (2001)

O passo consecutivo para determinação do TRRF é determinar altura da edificação e da profundidade do subsolo, se a mesma obtiver. Em seguida, através do anexo, também disponível na NBR14432 (ABNT,2001), é possível encontrar o TRRF da referida edificação. A seguir, a Tabela 2 apresenta as classificações para determinação.

Tabela 2-Determinação do Tempo requerido de resistência ao fogo (NBR14432).

**Tabela A.1 – Tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF), em minuto**

Grupo	Ocupação/uso	Divisão	Profundidade do subsolo		Altura da edificação				
			Classe S <sub>2</sub> h <sub>s</sub> > 10 m	Classe S <sub>1</sub> h <sub>s</sub> ≤ 10 m	Classe P <sub>1</sub> h ≤ 6 m	Classe P <sub>2</sub> 6 m < h ≤ 12 m	Classe P <sub>3</sub> 12 m < h ≤ 23 m	Classe P <sub>4</sub> 23 m < h ≤ 30 m	Classe P <sub>5</sub> h > 30 m
A	Residencial	A-1 a A-3	90	60 (30)	30	30	60	90	120
B	Serviços de hospedagem	B-1 e B-2	90	60	30	60 (30)	60	90	120
C	Comercial varejista	C-1 a C-3	90	60	60 (30)	60 (30)	60	90	120
D	Serviços profissionais, pessoais e técnicos	D-1 a D-3	90	60 (30)	30	60 (30)	60	90	120
E	Educacional e cultura física	E-1 a E-6	90	60 (30)	30	30	60	90	120
F	Locais de reunião de público	F-1, F-2, F-5, F-6 e F-8	90	60	60 (30)	60	60	90	120
G	Serviços automotivos	G-1 e G-2 não abertos lateralmente e G-3 a G-5	90	60 (30)	30	60 (30)	60	90	120
		G-1 e G-2 abertos lateralmente	90	60 (30)	30	30	30	30	60
H	Serviços de saúde e institucionais	H-1 a H-5	90	60	30	60	60	90	120
I	Industrial	I-1	90	60 (30)	30	30	60	90	120
		I-2	120	90	60 (30)	60 (30)	90 (60)	120 (90)	120
J	Depósitos	J-1	90	60 (30)	30	30	30	30	60
		J-2	120	90	60	60	90 (60)	120 (90)	120

/ANEXO B

Fonte: ABNT (2001)

### 3.8.1.2 Método do tempo equivalente

Costa e Silva (2005) elaboraram a seguinte equação para determinar o tempo equivalente:

$$t_{eq} = q_{fi} \cdot \gamma_n \cdot \gamma_s \cdot K \cdot W \cdot M \quad [ 2 ]$$

Onde:

$t_{eq}$  = tempo equivalente, em min;

$q_{fi}$  = carga de incêndio específica (Figura 3);

$\gamma_n$  = coeficiente que leva em consideração se a edificação possui medidas de proteção contra incêndio;

$\gamma_s$  = coeficiente de segurança que leva em conta o risco de início e propagação de incêndio na edificação;

K = coeficiente que leva em consideração os parâmetros térmicos dos elementos de vedação da edificação (usualmente, utiliza-se  $k=0,007 \text{ min} \cdot \text{m}^2/\text{MJ}$ );

W = fator de ventilação do ambiente, relacionando sua altura;

M=fator de correção levando em conta o material da estrutura.

Tabela 3 - Cargas de incêndio específicas, conforme ocupação da edificação

Ocupação/Uso	Descrição	Divisão	Carga de Incêndio (q <sub>g</sub> ) em MJ/m <sup>2</sup>
Residencial	Alojamentos estudantis	A - 3	300
	Apartamentos	A - 2	300
	Casas térreas ou sobrados	A - 1	300
	Pensionatos	A - 3	300
Serviços de Hospedagem	Hotéis	B - 1	500
	Motéis	B - 1	500
	Apert-hotéis	B - 2	300
Comercial varejista, Loja Ver subseção 1.2	Açougue	C - 1	40
	Antiquidades	C - 2	700
	Aparelhos eletrodomésticos	C - 1	300
	Aparelhos eletrônicos	C - 2	400
	Armarinhos	C - 2	600
	Armas	C - 1	300
	Artigos de bijouteria, metal ou vidro	C - 1	300
	Artigos de cera	C - 2	2100
	Artigos de couro, borracha, esportivos	C - 2	800
	Automóveis	C - 1	200
	Bebidas destiladas	C - 2	700
	Brinquedos	C - 2	500
	Calçados	C - 2	500
	Couro, artigos de	C - 2	700
	Drogarias (incluindo depósitos)	C - 2	1000
	Esportes, artigos de	C - 2	800
	Ferragens	C - 1	300
	Floricultura	C - 1	80
	Galeria de quadros	C - 1	200
	Joalherias	C - 1	300
	Livrarias	C - 2	1000
	Lojas de departamento ou centro de compras (Shoppings)	C - 2/ C - 3	800
	Materiais de construção	C - 2	800
	Máquinas de costura ou de escritório	C - 1	300
	Materiais fotográficos	C - 1	300
	Móveis	C - 2	400
	Papelarias	C - 2	700
	Perfumarias	C - 2	400
	Produtos têxteis	C - 2	800
	Relojoarias	C - 2	600
	Supermercados	C - 2	400
	Tapetes	C - 2	800
	Tintas e vernizes	C - 2	1000
	Verduras frescas	C - 1	200
Vinhos	C - 1	200	
Vulcanização	C - 2	1000	

Fonte: CBM/SE (2013)

Continuação da Tabela 3

<b>Serviços profissionais, pessoais e técnicos</b>	Agências bancárias	D - 2	300
	Agências de correios	D - 1	400
	Centrais telefônicas	D - 1	100
	Cabeleireiros	D - 1	200
	Clinicas e consultórios médicos ou odontológicos.	D - 1	200
	Copiadora	D - 1	400
	Encadernadoras	D - 1	1000
	Escritórios	D - 1	700
	Estúdios de rádio ou de televisão ou de fotografia	D - 1	300
	Laboratórios químicos	D - 4	500
	Laboratórios (outros)	D - 4	300
	Lavanderias	D - 3	300
	Oficinas elétricas	D - 3	600
	Oficinas hidráulicas ou mecânicas	D - 3	200
	Pinturas	D - 3	500
	Processamentos de dados	D - 1	400
<b>Educacional e cultura física</b>	Academias de ginástica e similares	E - 3	300
	Pré-escolas e similares	E - 5	300
	Creches e similares	E - 5	300
	Escolas em geral	E - 1/E - 2/E - 4/E - 6	300
<b>Locais de reunião de Público</b>	Bibliotecas	F - 1	2000
	Cinemas, teatros e similares	F - 5	600
	Circos e assemelhados	F - 7	500
	Centros esportivos e de exibição	F - 3	150
	Clubes sociais, boates e similares	F - 6	600
	Estações e terminais de passageiros	F - 4	200
	Exposições	F - 10	Adotar Anexo C
	Igrejas e templos	F - 2	200
	Museus	F - 1	300
	Restaurantes	F - 8	300
<b>Serviços automotivos e assemelhados</b>	Estacionamentos	G - 1/G - 2	200
	Oficinas de conserto de veículos e manutenção	G - 4	300
	Postos de abastecimentos (tanque enterrado)	G - 3	300
	Hangares	G - 5	200
<b>Serviços de saúde e Institucionais</b>	Asilos	H - 2	350
	Hospitais em geral	H - 1/H - 3	300
	Presídios e similares	H - 5	100
	Quartéis e similares	H - 4	450
<b>Industrial Ver subseção 1.2</b>	Aparelhos eletroeletrônicos, fotográficos, ópticos	I - 2	400
	Acessórios para automóveis	I - 1	300
	Acetileno	I - 2	700
	Alimentação	I - 2	800
	Aço, corte e dobra, sem pintura, sem embalagem	I - 1	40
	Artigos de borracha, couro, feltro, espuma	I - 2	600

Fonte: CMB/SE (2013)

### **3.9 Sistemas de proteção contra incêndio**

Segundo Rodrigues (2011), existem dois tipos de proteção: a ativa e a passiva. Ambas se complementam e são ideais para garantir a detecção do incêndio e, sobretudo, a evacuação de maneira assegurada do edifício.

#### **3.9.1 Sistema de proteção ativa**

Esse sistema de proteção só inicia o seu papel a partir do momento que o incêndio também é iniciado. Pode ser acionado de maneira manual ou automática e são compostos, principalmente por:

- *Sensores e alarmes*: programados para serem acionados quando há um teor de fumaça fora do comum em uma edificação, alertando os usuários do prédio para sua evacuação o mais rápido possível.
- *Meios de combate ao incêndio*: acionados de maneira manual, alarmes, extintores e mangueiras com acesso a água são exemplos de componentes que auxiliam na extinção de focos de incêndio que ainda estejam ao alcance da extinção por leigos.
- *Sinalizações e Saídas de emergência*: Orienta a evacuação dos usuários para que esta ocorra de maneira rápida e segura.

#### **3.9.2 Sistemas de proteção passiva**

Tal sistema já entra em eficácia a partir da sua instalação ou dimensionamento e tem por objetivo preservar os elementos estruturais da edificação, reduzindo os danos das superfícies expostas ao fogo, garantindo a evacuação segura dos usuários. Com isso, a escolha dos elementos estruturais que tenham uma boa resistência ao fogo já é um sistema de proteção, além do método compartimentar a edificação, que traz consigo o intuito de evitar a propagação do incêndio para compartimentos que ainda não estejam com contato com o fogo e os gases produzidos. Além disso, o uso de materiais de proteção térmica pode ser utilizado com a mesma finalidade. (ABRACOPEL, 2014)

##### **3.9.2.1 Materiais de proteção térmica**

Esses materiais têm por finalidade a função de retardar o aumento de temperatura nos elementos da edificação (GERKEN, 2007). Sabendo que os elementos estruturais quando submetidos a altas temperaturas perdem resistência e rigidez, busca-se utilizar materiais que

ajudem a preservar temperaturas mais baixas, visando manter a sua integridade estrutural, ainda que os gases quentes cheguem a elevadas temperaturas. Alguns desses materiais são:

- Argamassa projetada: Material aplicado por jateamento. Em sua composição, possuem elementos cimentícios (gesso, cimento, materiais inertes) ou até mesmo as fibras projetadas (lã de rocha, fibras minerais e aglomerante), que juntas a água e agregados aplicados por pistola spray diretamente na estrutura projetam uma camada protetora e de isolamento térmico. Com baixo custo e boa eficiência, se destacam no mercado, porém o quesito estético deixa a afeição de chapisco. Tal material se destaca pela sua alta resistência, visto que possui o cimento em sua composição. Porém, como desvantagem, tem o seu aspecto estético visto como “grosseiro”. (GREKEN,2007);
- Placas de gesso acartonado: Existem placas desse material para uso especial contra fogo, especificamente para estruturas de aço. Funcionam como uma cobertura, deixando os perfis de aço ocultos. Porém, tal material possui limitação de uso e pode somente ser utilizado em ambientes internos, sem presença de umidade, uma vez que pode ser agredido com a presença de água;
- Pintura Intumescente: As tintas intumescentes reagem ao calor num processo de expansão de volume, retardando o aumento da temperatura nas faces dos perfis pintados. Sua composição é, principalmente, resinas orgânicas, sais de fósforo, amido e melanina (GREKEN, 2007). A aplicação é feita de maneira semelhante a uma pintura comum, porém com uma camada de espessura específica, a depender dos parâmetros de proteção adotados;

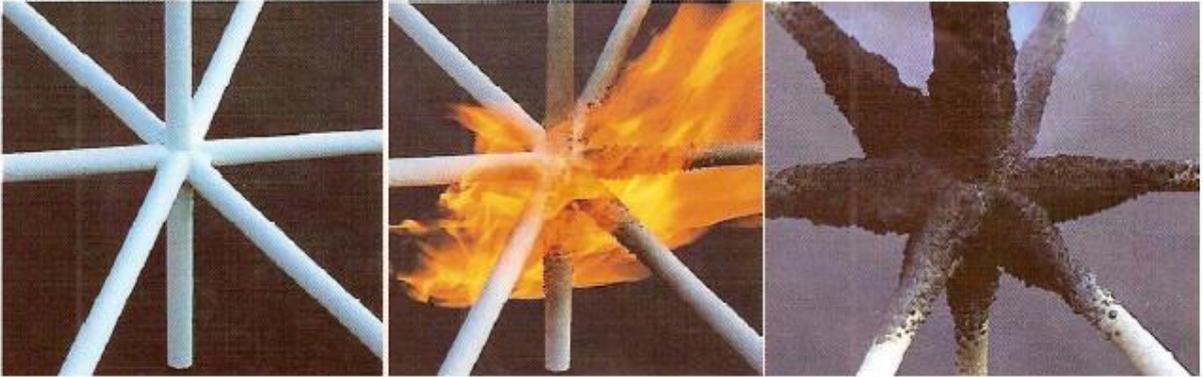
As figuras a seguir apresentam elementos estruturais protegidos com os materiais citados acima.

Figura 3 – Argamassa projetada em perfil de aço.



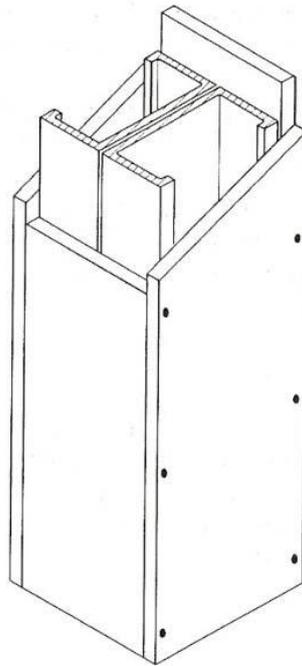
Fonte: GERKEN,2017

Figura 4 – Pintura intumescente aplicada em perfil de aço e sua expansão em contato com o fogo



Fonte: GERKEN,2007

Figura 5 – Esquema de enclausuramento de pilar de aço com gesso acartonado.



Fonte: GERKEN,2007

## **4 METODOLOGIA PARA O DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO**

### **4.1 Análise linear-elástica**

Também conhecida como “análise de primeira ordem”, trata-se de um estudo do comportamento da estrutura de maneira simplificada, caracterizada por não apresentar deformações permanentes após a retirada dos carregamentos, mantendo uma proporcionalidade entre tensões e deformações, admitindo que os deslocamentos e rotações são de mínima escala e, sendo assim, a configuração final da estrutura (carregada) pode ser simplificada pela sua situação inicial (sem carregamento) (LEAL,2014).

### **4.2 Tensão Última**

Também conhecida como Tensão limite de escoamento, a tensão última se trata do valor máximo que um corpo suporta antes de chegar à ruptura. Convencionalmente, o Aço ASTM 572 – Gr 50 tem uma tensão última de 415 Mpa, segundo o catálogo de perfis estruturais da GERDAU.

### **4.3 Ação Térmica no concreto armado e nos perfis de aço**

Para Silva (2005), com a elevação da temperatura, tanto o aço quanto o concreto armado têm suas propriedades mecânicas reduzidas progressivamente e, em consequência disso, pode haver o colapso da estrutura ou ligações existentes.

#### **4.3.1 O aço em situação de incêndio**

Propriedades relevantes para o cálculo estrutural, como rigidez e resistência, são afetadas com a exposição dos perfis de aço à altas temperaturas, devido a degeneração de características físicas e químicas do material. Sendo assim, propriedades como o módulo de elasticidade e o limite de escoamento são reduzidas, para fins de cálculo, através de parâmetros estabelecidos e apresentados na Tabela 3, disponível na NBR 14323(ABNT,2013).

Tabela 4 – Fatores de redução para o aço.

Temperatura do aço $\theta_a$ (°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: ABNT,2003

Dessa forma, é possível calcular a valor do limite de escoamento para uma dada temperatura através da expressão:

$$f_{y,\theta} = k_{y,\theta} \cdot f_y \quad [ 3 ]$$

Onde:

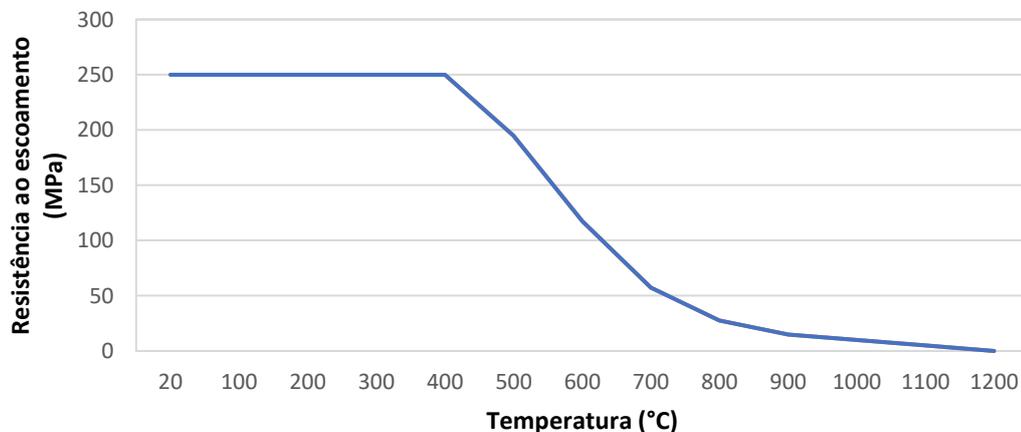
$f_{y,\theta}$ = Resistência ao escoamento do aço, na temperatura  $\theta$ , em MPa;

$k_{y,\theta}$ = Fator de redução da resistência ao escoamento do aço, na temperatura  $\theta$ ;

$f_y$ =Resistência ao escoamento do aço, em condições ambientes (usualmente = 250MPa)

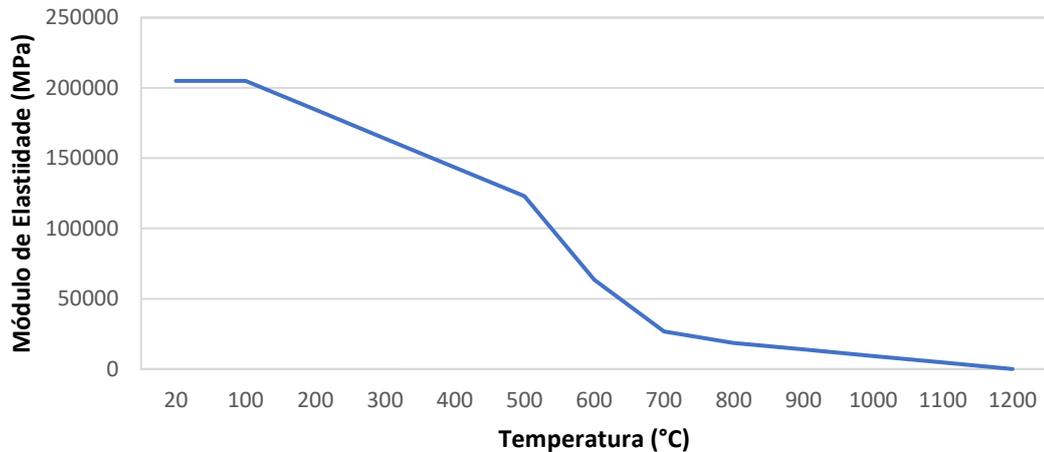
De maneira análoga, é possível calcular, também, a redução do módulo de elasticidade do aço, com o avanço da temperatura. Obtendo os dados, é possível traçar os gráficos 1 e 2.

Gráfico 1 – Variação do limite de escoamento do aço em função da temperatura.



Fonte: O autor (2022)

Gráfico 2-Variação do módulo de elasticidade em função da temperatura



Fonte: O autor (2022)

Juntamente com a equação da curva-padrão de incêndio (equação 1), na qual é calculada a temperatura dos gases com o decorrer do tempo no sinistro, é possível analisar a temperatura do aço, supondo que os gases estão em contato com as superfícies dos perfis de aço sem proteção térmica e a distribuição da temperatura é dada de maneira uniforme, através da seguinte expressão, disponível na NBR 14323(ABNT,2013):

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{\left(\frac{u}{A}\right)}{c_a \cdot \rho_a} \cdot \varphi \cdot \Delta t \quad [4]$$

Onde:

$\Delta\theta_{a,t}$ = Temperatura do perfil de aço sem proteção térmica, num dado intervalo de tempo  $\Delta t$ , em °C;

$\left(\frac{u}{A}\right)$ = Fator de massividade do perfil, dado pela razão entre o perímetro da seção transversal ( $u$ ) e a sua área ( $A$ ), em  $m^{-1}$ ;

$c_a$ = Calor específico do aço, em  $J/kg^{\circ}C$  (para cálculos simplificados, utiliza-se  $600J/kg^{\circ}C$ );

$\rho_a$ = Massa específica do aço, em  $kg/m^3$  (para cálculos simplificados, utiliza-se  $7850kg/m^3$ );

$\varphi$ = Fluxo de calor por unidade de área, em  $W/m^2$ ;

$\Delta t$ = Intervalo de tempo, em segundos, não ultrapassando 5s.

### 4.3.2 Fluxo de calor

O valor final desse parâmetro, medido em  $W/m^2$ , é a soma do componente do fluxo de calor devido ao fenômeno da convecção com o componente do fluxo de calor devido a radiação.

Dessa forma:

$$\varphi = \varphi_c + \varphi_r \quad [ 5 ]$$

sendo,

$$\varphi_c = \alpha_c \cdot (\theta_g - \theta_a) \quad [ 6 ]$$

e

$$\varphi_r = 5,67 \times 10^{-8} \cdot \varepsilon_{res} \cdot [(\theta_g + 273)^4 - (\theta_a + 273)^4] \quad [ 7 ]$$

onde:

$\varphi_c$ = Componente do fluxo de calor devido a convecção;

$\varphi_r$ =Componente do fluxo de calor devido a radiação;

$\alpha_c$ =coeficiente de transferência de calor por convecção, em W/m<sup>2</sup> (adota-se 25W/m<sup>2</sup>);

$\theta_g$ = Temperatura dos gases, em °C;

$\theta_a$ = Temperatura da superfície do perfil de aço, em °C;

$\varepsilon_{res}$ = Emissividade resultante (para fins práticos, pode ser tomada por 0,5);

Além disso, também é possível determinar a variação de temperatura com o tempo em perfis de aço que possuem revestimento de materiais de proteção térmica através de:

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{\lambda_m \cdot (\frac{u_m}{A})}{t_m \cdot \rho_a \cdot c_a} \cdot \frac{(\theta_{g,t} - \theta_{a,t}) \cdot \Delta t}{1 + (\frac{\xi}{4})} - \frac{\Delta\theta_{g,t}}{(\frac{4}{\xi}) + 1} \quad [ 8 ]$$

sendo,

$$\xi = \frac{c_m \cdot \rho_m}{c_a \cdot \rho_a} \cdot t_m \cdot (u_m / A) \quad [ 9 ]$$

onde:

$\Delta\theta_{a,t}$ = Temperatura do perfil de aço envolvido por material de proteção térmica, num dado intervalo de tempo  $\Delta t$ , em °C;

$\lambda_m$ = Condutividade térmica do material de revestimento contra fogo, em W.m/°C;

$(\frac{u_m}{A})$ = Fator de massividade do perfil, dado pela razão entre o perímetro da seção transversal (u) e a sua área (A), em m<sup>-1</sup>;

$u_m$ = Perímetro do material que reveste o perfil de aço, em m;

$c_a$ = Calor específico do aço, em J/kg°C (para cálculos simplificados, utiliza-se 600J/kg°C);

$\rho_a$ = Massa específica do aço, em kg/m<sup>3</sup> (para cálculos simplificados, utiliza-se 7850Kg/m<sup>3</sup>);

$c_m$ = Calor específico do material de revestimento contra fogo, em J/kg°C ;

$\rho_m$ = Massa específica do material de revestimento contra fogo, em kg/m<sup>3</sup>;

$\theta_{g,t}$ = Temperatura dos gases, no tempo t, em °C;

$\theta_{a,t}$ = Temperatura da superfície do perfil de aço, no tempo t, em °C;

$\Delta t$  = Intervalo de tempo, em segundos, não ultrapassando 30s.

Para materiais de proteção como as tintas intumescentes, a equação 9 não pode ser utilizada, visto que o seu comportamento deve ser analisado por experimentos em laboratórios. Entretanto, para outros materiais, como as argamassas projetadas, através das equações listadas, é possível fazer uma análise da evolução da temperatura dos gases quentes e como eles transferem calor para as superfícies do aço, comparando, também a evolução da temperatura dos perfis com e sem material de proteção contra fogo.

### 4.3.3 O Concreto em situação de incêndio

Semelhante ao aço, o concreto também sofre variações em suas propriedades numa situação de incêndio. A resistência à compressão é uma delas, pois também é reduzida com o aumento da temperatura, pelo produto do fator de redução, disponível na NBR 15200(ABNT,2012), ilustrado a seguir.

Tabela 5 – Fatores de redução da resistência à compressão do concreto com o aumento da temperatura.

Temperatura do concreto (°C)	Agregados Silicosos			Agregados Calcários		
	$f_{ck,\theta}/f_{ck}$	$\epsilon_{c1,\theta}$	$\epsilon_{cu1,\theta}$	$f_{ck,\theta}/f_{ck}$	$\epsilon_{c1,\theta}$	$\epsilon_{cu1,\theta}$
20	1,00	0,0025	0,0200	1,00	0,0025	0,0200
100	1,00	0,0040	0,0225	1,00	0,0040	0,0225
200	0,95	0,0055	0,0250	0,97	0,0055	0,0250
300	0,85	0,0070	0,0275	0,91	0,0070	0,0275
400	0,75	0,0100	0,0300	0,85	0,0100	0,0300
500	0,60	0,0150	0,0325	0,74	0,0150	0,0325
600	0,45	0,0250	0,0350	0,60	0,0250	0,0350
700	0,30	0,0250	0,0375	0,43	0,0250	0,0375
800	0,15	0,0250	0,0400	0,27	0,0250	0,0400
900	0,08	0,0250	0,0425	0,15	0,0250	0,0425
1000	0,04	0,0250	0,0450	0,06	0,0250	0,0450
1100	0,01	0,0250	0,0475	0,02	0,0250	0,0475
1200	0,00			0,00		

Fonte: ABNT (2013)

A partir disso, é possível calcular a valor do limite de escoamento para uma dada temperatura através da expressão:

$$\frac{f_{c,\theta}}{f_{ck}} = k_{c,\theta} \quad [ 10 ]$$

Onde:

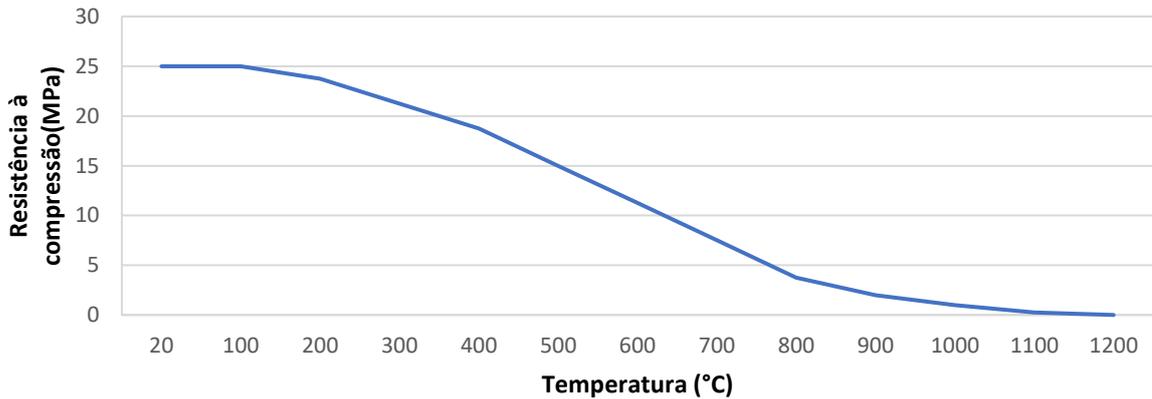
$f_{c,\theta}$  = Resistência à compressão do concreto, na temperatura  $\theta$ , em MPa;

$f_{ck}$  = Resistência à compressão do concreto, em condições ambientes ( $\theta=20^{\circ}\text{C}$ );

$k_{c,\theta}$  = Fator de redução da resistência à compressão do concreto, na temperatura  $\theta$ .

O gráfico da redução da resistência à compressão será apresentado a seguir, analisando um concreto de  $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$ .

Gráfico 3 – Variação da resistência à compressão em função da temperatura



Fonte: O autor (2022)

É importante evidenciar, também, que, com o aumento da temperatura, o concreto se torna um material menos frágil, ou seja, sua ductilidade aumenta, uma vez que seus fatores são maiores ou iguais a um. Porém, ainda que obtenha maior ductilidade, torna-se menos resistente (Rodrigues, 2011).

Através do Quadro, é possível acompanhar o efeito da ação térmica no concreto.

Quadro 1 - Transformações sofridas no concreto com o aumento da temperatura.

Temperatura no compartimento (°C)	Transformações
Até 100°C	Início da evaporação da água capilar
100°C a 300°C	Desidratação da microestrutura e início da queda de resistência.
300°C a 600°C	Desplacamento dos cobrimentos; <i>spalling</i> ; porosidade e fissuras.
600°C a 700°C	Desidratação da pasta de cimento.
700°C a 800°C	Água de hidratação e água adsorvida completamente evaporadas.
800°C a 1400°C	Perda de função estrutural e “derretimento” do concreto.

Fonte: LIMA, 2005(adaptado)

#### 4.4 Estratégia de análise

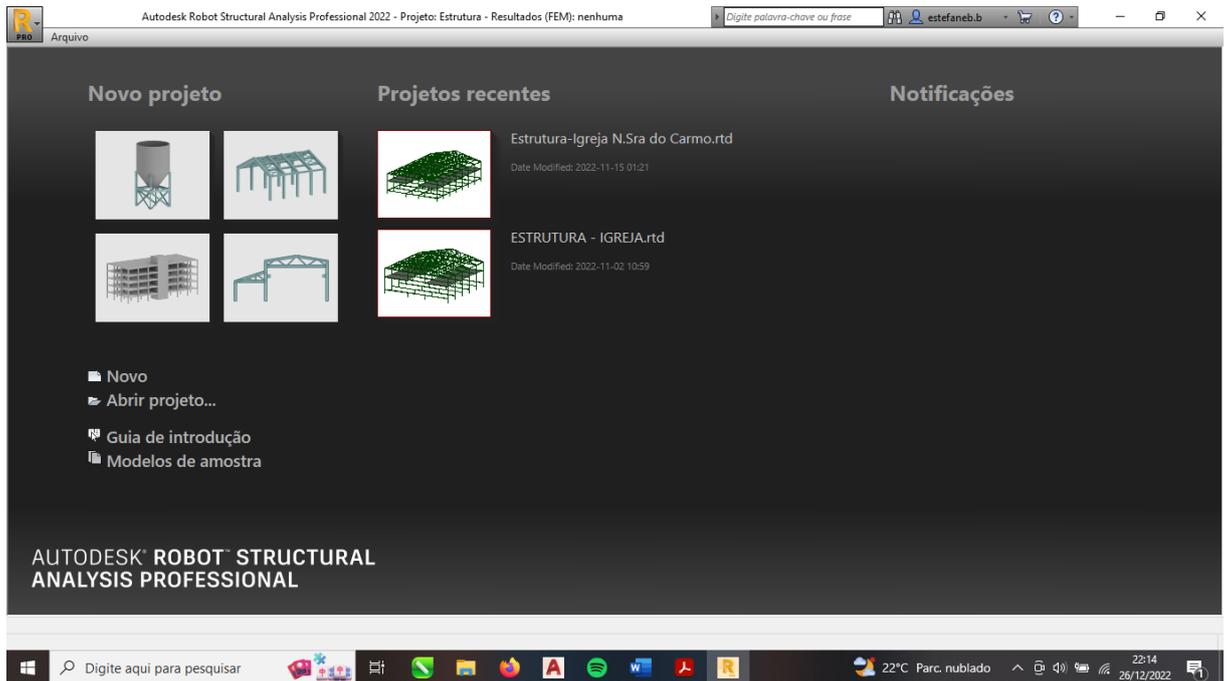
As estruturas híbridas apresentam grandes vantagens em construção, uma vez que evidenciam melhorias nas cargas laterais e diminuição do peso próprio, se comparado a uma estrutura completa em concreto armado. Entretanto, estruturas desse modo requerem uma dada atenção ainda maior para as possíveis situações de incêndio, visto que os elementos se comportam de maneiras distintas. Para isso, através da modelagem no software *Robot*, junto aos cálculos e análises dos parâmetros exigidos pelas normas referidas anteriormente, foi possível simular uma situação de incêndio da estrutura, acrescentando cargas térmicas, gradativamente, observando o comportamento dos elementos estruturais, dando maior ênfase aos determinados como “críticos” (viga e tirante de aço), além de uma análise comparativa da temperatura dos materiais expostos ao fogos sem proteção e com material de proteção térmica, no qual foi escolhido para este trabalho a argamassa projetada *Blaze Shield II*, fabricada pela *Isolatek International*, uma das empresas que lideram o mercado mundial de proteção passiva contra incêndios em estruturas de aço.

#### 4.5 *Software Robot – Autodesk*

O *Autodesk® Robot™ Structural Analysis* é um software de análise estrutural em que é possível modelar uma estrutura e obter análises estruturais elásticas, não lineares, sísmicas, dentre outros tipos. Através da versão estudantil, foi possível utilizar todos os recursos do software para realizar a análise linear elástica da estrutura em estudo.

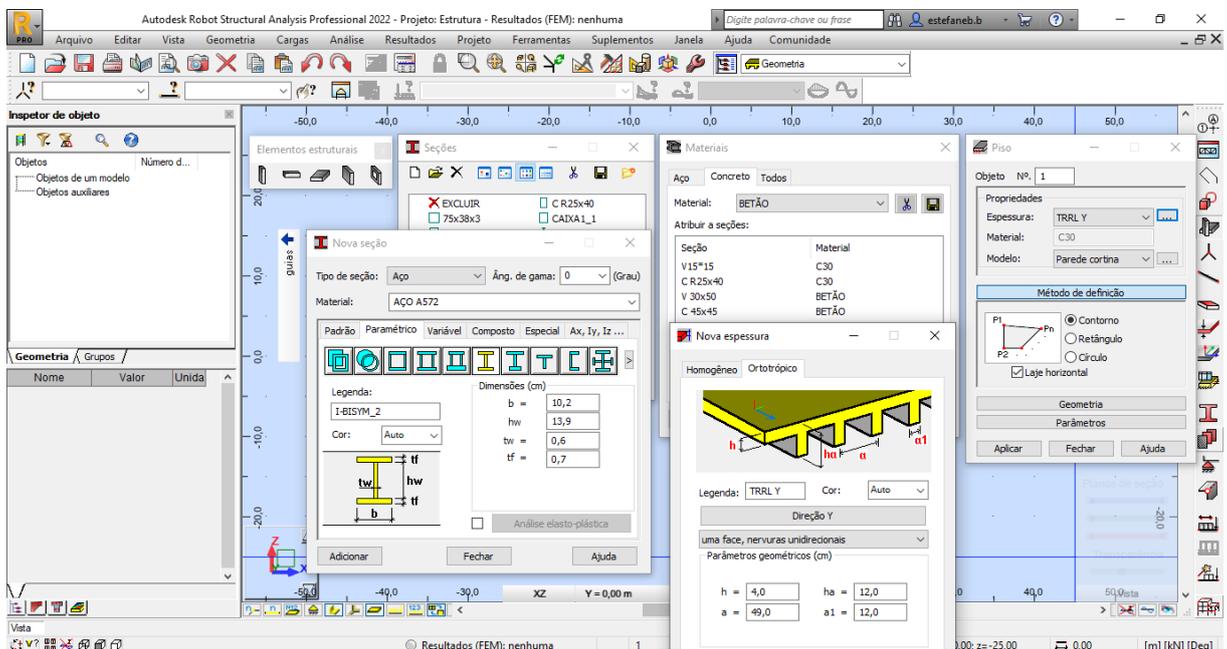
Através das suas ferramentas, é possível adicionar os tipos de materiais utilizados nos elementos estruturais, bem como as resistências de cada material às suas seções transversais, sendo possível modelar pilares, vigas e lajes. Para este estudo de caso, os pilares e vigas foram dimensionados como colunas e a laje como elemento de piso/painel.

Figura 6 - Interface do Software



Fonte: Autora (2022)

Figura 7 - Ferramentas do Software Robot



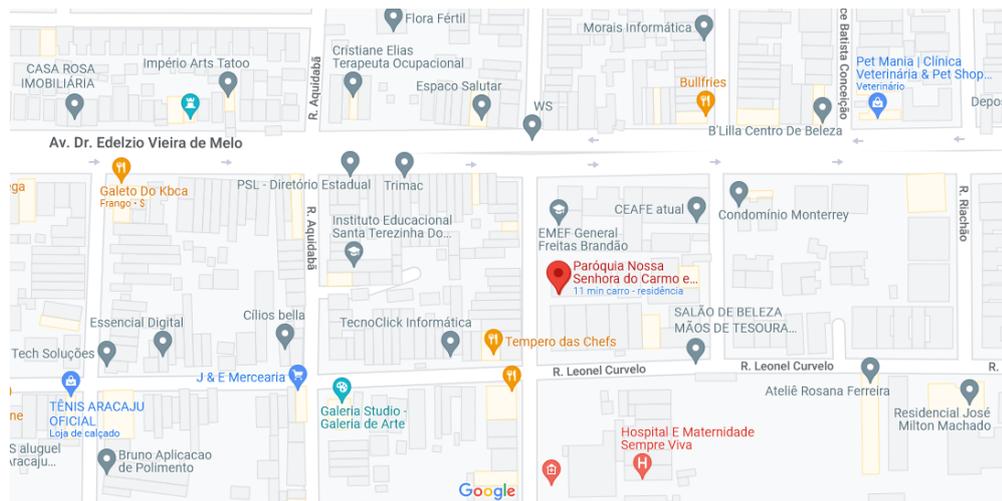
Fonte: Autora (2022)

## 5 ESTUDO DE CASO – ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DA ESTRUTURA HÍBRIDA EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO, MODELADO NO SOFTWARE ROBOT

### 5.1 Descrição da edificação

A edificação estudada será a Igreja Nossa Senhora do Carmo e Santa Teresinha, localizada na Rua Porto da Folha, Nº 1755, Bairro Suissa, Aracaju-SE. Com uma arquitetura moderna, apresenta uma estrutura híbrida, composta por dois pavimentos, sendo o térreo o local das celebrações eucarísticas e o pavimento superior destinado a salas para cursos e formações da igreja para as demais atividades pastorais.

Figura 8 - Mapa da localização da edificação estudada



Fonte: Google (2022)

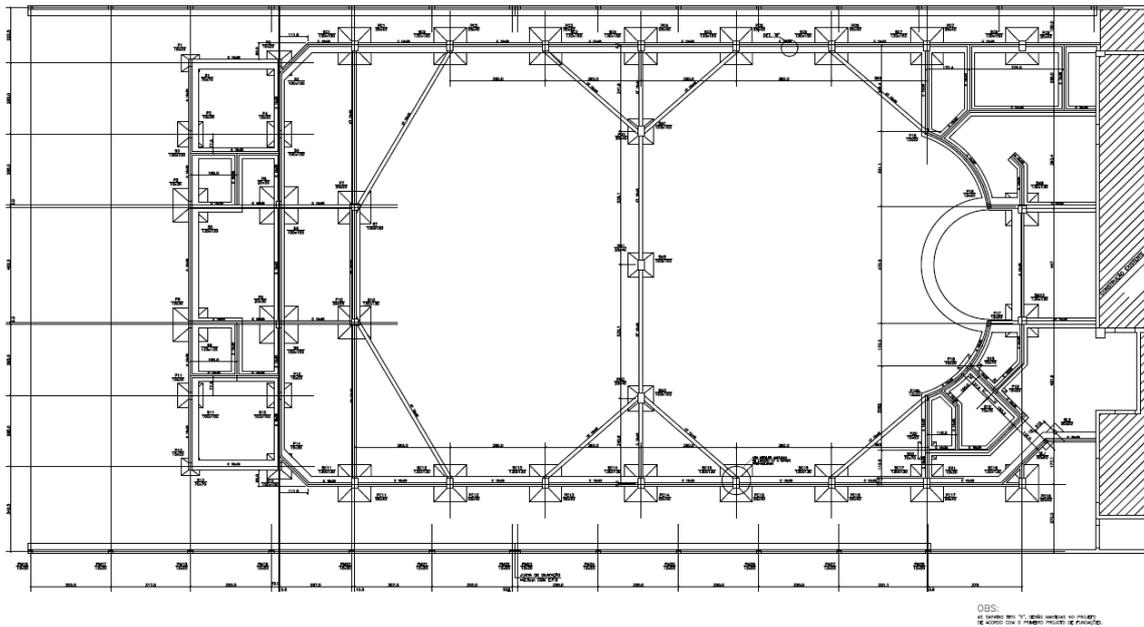
Figura 9- Fachada da edificação



Fonte: Google (2022)

Com cerca de quinhentos metros quadrados de terreno e aproximadamente oitocentos e cinquenta metros quadrados construídos, a igreja apresenta grande número de público semanalmente. Abaixo, as figuras apresentam detalhes construtivos das suas plantas de execução.

Figura 10 - Planta de localização das fundações, pilares e vigas baldrames



Fonte: RC Estruturas (2007)

Figura 11 - Planta de forma da primeira laje

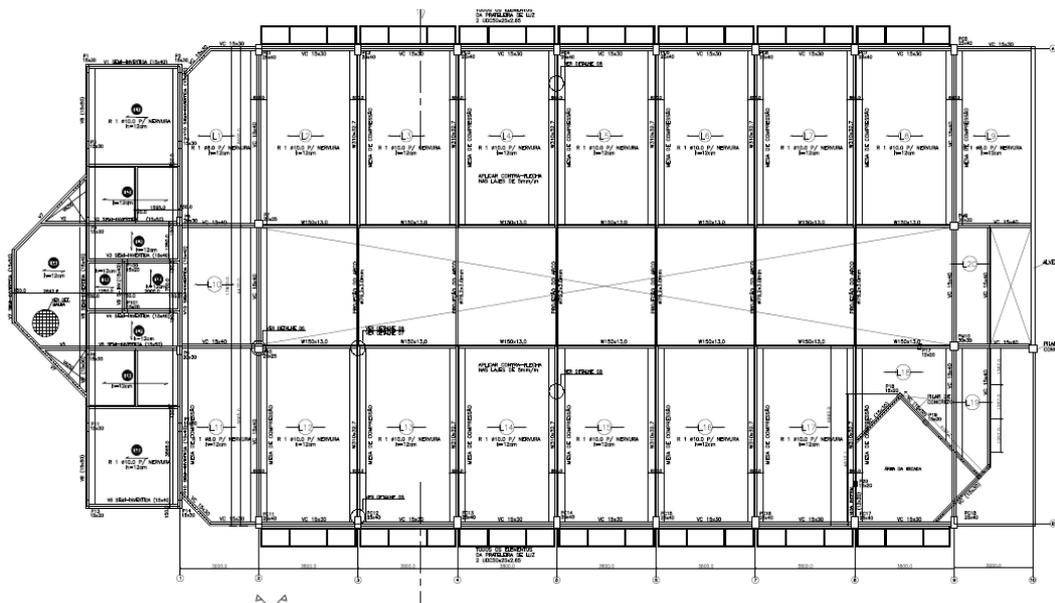


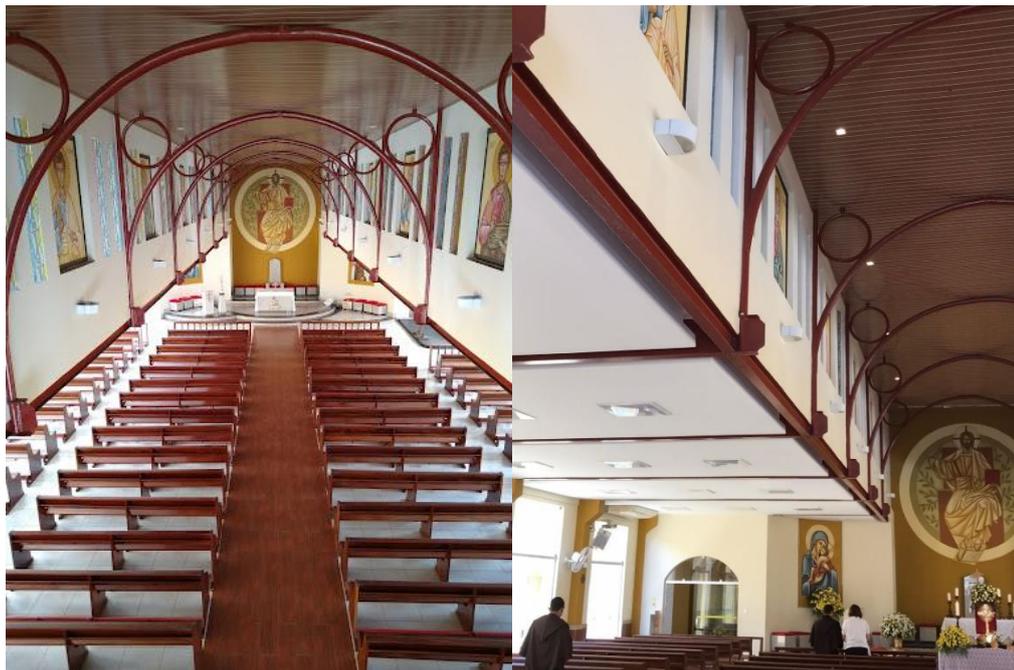


Figura 14 - Detalhes dos pilares, arcos e vigas de aço da construção



Fonte: O autor (2022)

Figura 15 - Detalhes dos elementos de aço da estrutura



Fonte: O autor (2022)

Analisando a planta e seus detalhes, foi possível observar que a estrutura pode ser dividida em pórticos, com 17,95m de largura e 10,55m de altura, conforme apresenta a Figura 10. O pórtico apresenta ligações rígidas entre si, deixando, assim, vigas engastadas nos pilares, implicando em uma transferência de cargas de maneira uniforme entre si. Dessa forma, entre os elementos de cada pórtico, temos a tabela a seguir:

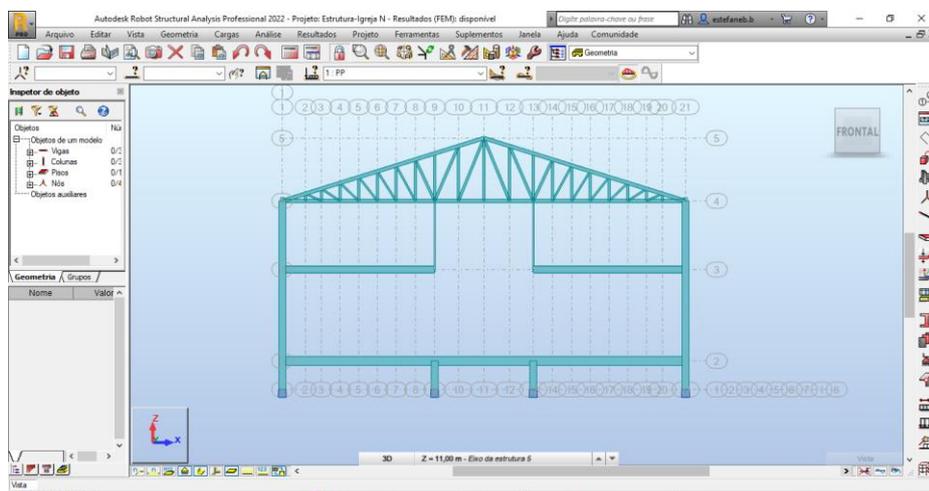
Quadro 2 - Elementos estruturais utilizados na construção da igreja

Elemento	Material / Seção / perfil
Sapatas e vigas baldrame	Concreto armado – 25 MPa
Pilares	Concreto armado – 25 MPa (25x40)
Vigas	Aço – Perfis W310x32,7 e W150x13,0
Laje	Treliças + concreto 25MPa +EPS
<b>Treliça (Telhado/ Cobertura)</b>	
Banzo superior	Aço – 2U 152,4x12,2
Banzo inferior	Aço – W150x18,0
Montantes	Aço – 2UDC 100x40x3,0
Diagonais	Aço – 2UDC 75x38x3,0
Terças	Aço – UDC 100x50x17x2,65

Fonte: O autor (2022)

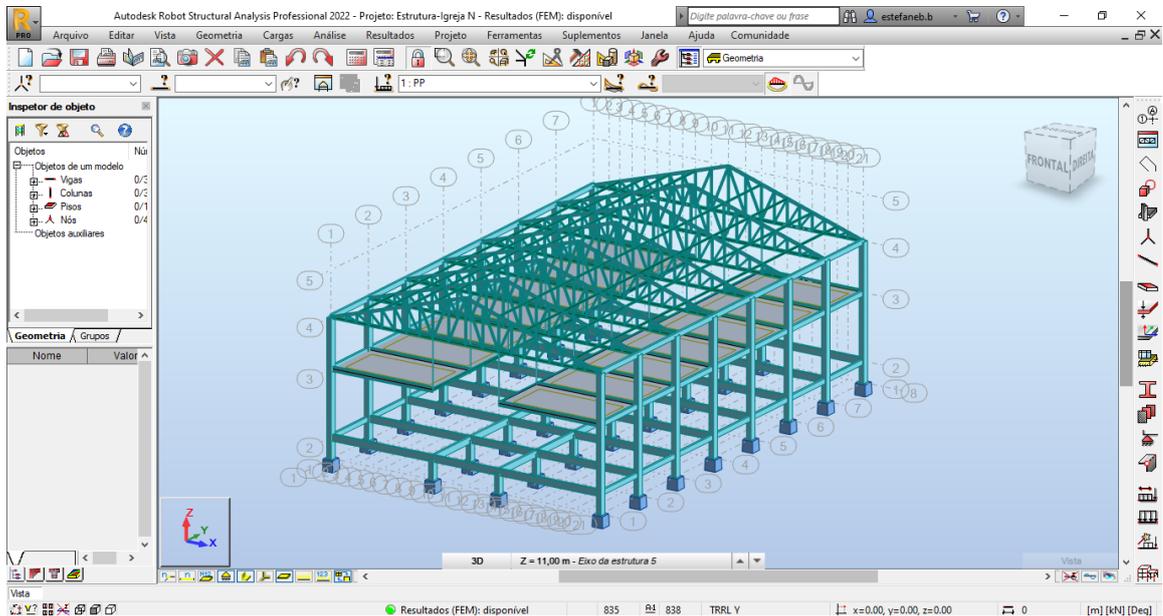
Somando as informações das plantas de execução e visita ao local, foi modelada a estrutura, de maneira simplificada, para fins de cálculo, no software *Robot*, da Autodesk, com a finalidade de observar, de maneira didática, como a estrutura se comporta. As figuras a seguir apresentam a modelagem feita no software.

Figura 16 - Seção transversal modelada no *Robot*



Fonte: O autor (2022)

Figura 17 - Modelagem 3D, interligando os pórticos, no *Robot*



Fonte: O autor (2022)

Após inserir todos os elementos, com suas devidas seções transversais e especificações de resistência, junto as configurações de apoios e vínculos, para os cálculos, foram adicionados o peso próprio da edificação e a sobrecarga nas lajes do pavimento superior, no valor de  $2,0\text{kN/m}^2$ , conforme NBR6120 (ABNT,2019). Desse modo, o modelo estava pronto para ser analisado conforme a estratégia definida para o presente trabalho.

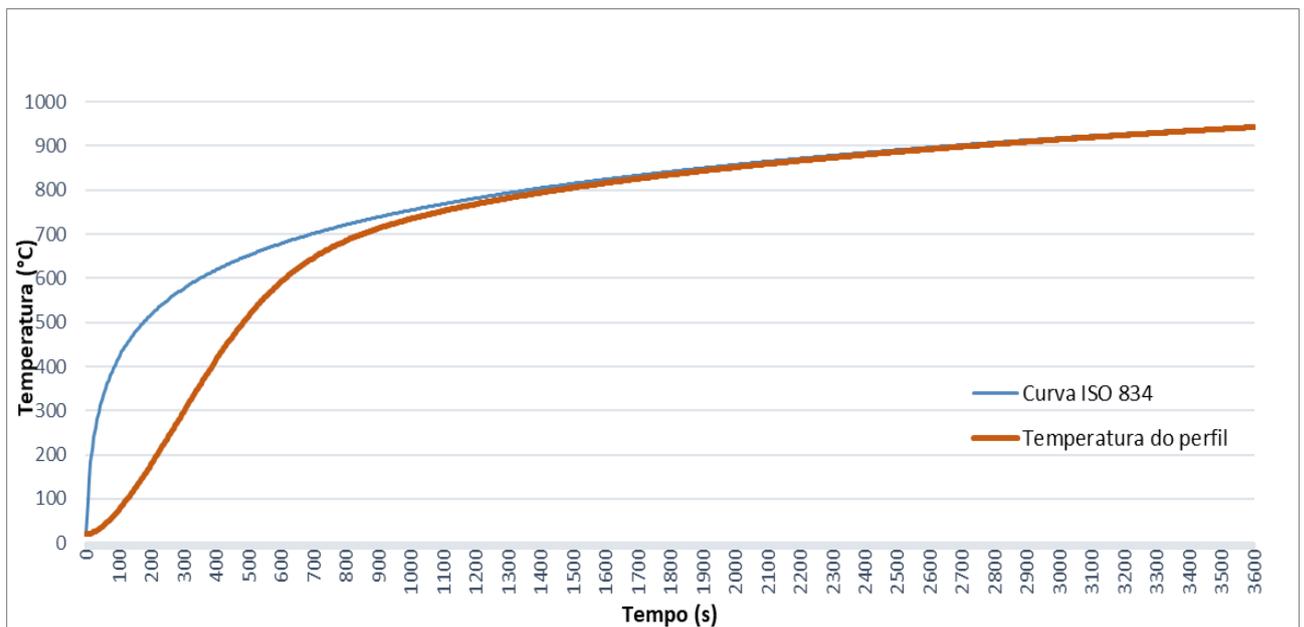
### 5.3 Cálculo do TRRF

Para fins de estudos, foi utilizado o método tabular para cálculo do tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF). Desse modo, através das Tabelas 1 e 2, foi possível identificar em qual grupo a edificação se encaixava. Como se trata de um local de reunião pública, foi identificado o Grupo F, no subgrupo 2, pois se trata de uma igreja. Além disso, como a altura do pé direito da edificação é de 10,55 metros e, nesse caso, encontra-se entre 6m e 12m, o TRRF para essa construção foi definido em 60 minutos. Desse modo, esse intervalo de tempo foi tido como base para as próximas análises.

#### 5.4 Temperatura dos perfis de aço “críticos” em função do tempo em situação de incêndio sem proteção térmica

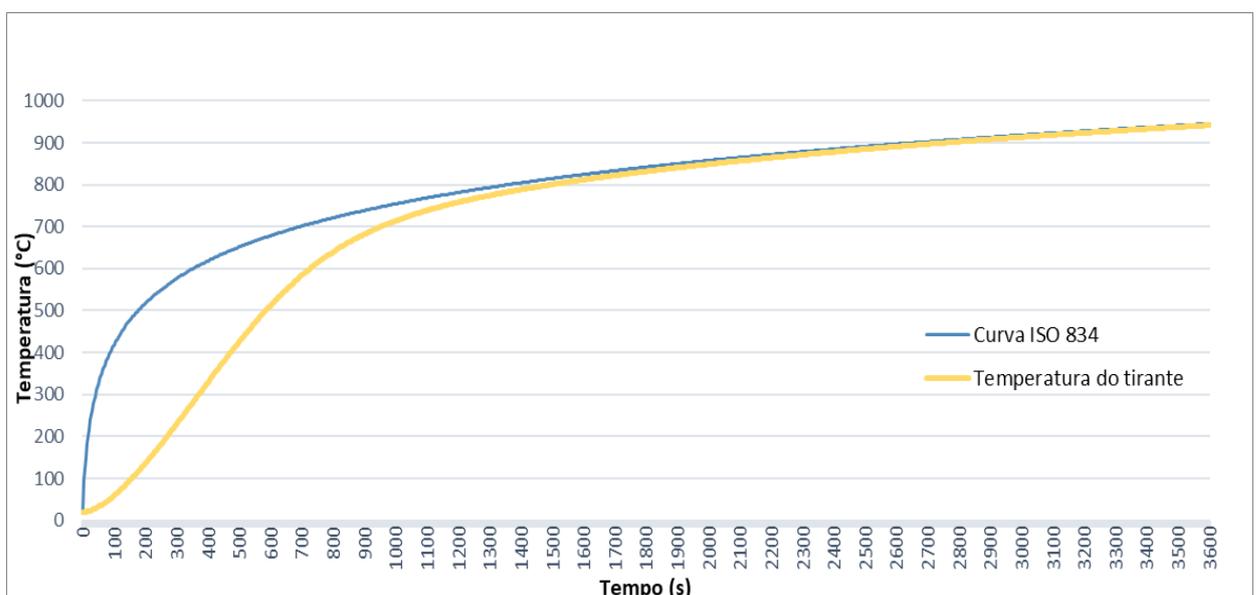
Como definido anteriormente, o foco da análise se dará aos elementos críticos (viga e tirante de aço). Ao utilizar a equação 4, junto aos dados de cada perfil, no intervalo de tempo dos 60 minutos (3600 segundos), foi possível obter os gráficos 4 e 5.

Gráfico 4 - Evolução da temperatura no perfil W310x32,7 em função do tempo



Fonte: O autor (2022)

Gráfico 5 - Evolução da temperatura no tirante de aço (76,2x6,3) em função do tempo

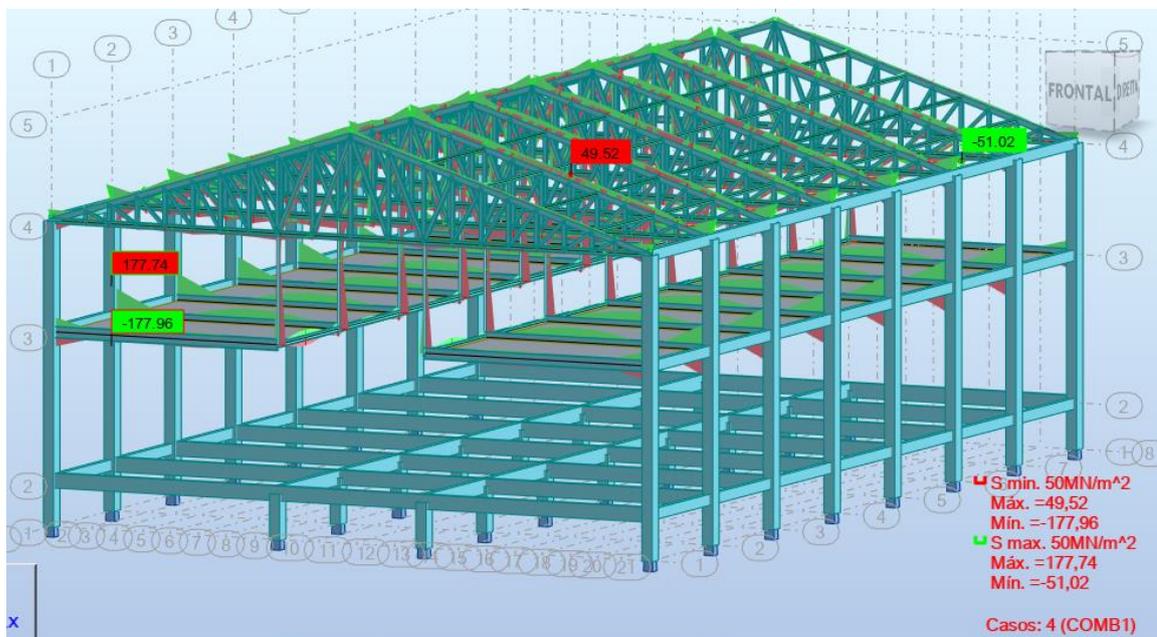


Fonte: O autor (2022)

Analisando os gráficos, foi possível observar que, sem material de proteção térmica, a curva de temperatura do perfil e do tirante se comporta de maneira semelhante da curva de incêndio-padrão, tendo um brusco aumento da temperatura nos primeiros segundos e chegando a cerca de  $950^{\circ}\text{C}$  até os 60 primeiros minutos. Nesse caso, é notório que próximo a essa temperatura, os materiais já teriam perdido grandes parcelas de rigidez e resistência iniciais, sendo, então, necessário a introdução de um material de proteção contra fogo para assegurar que a estrutura mantenha suas propriedades mecânicas, sem prejudicar a evacuação dos usuários em uma possível situação de incêndio.

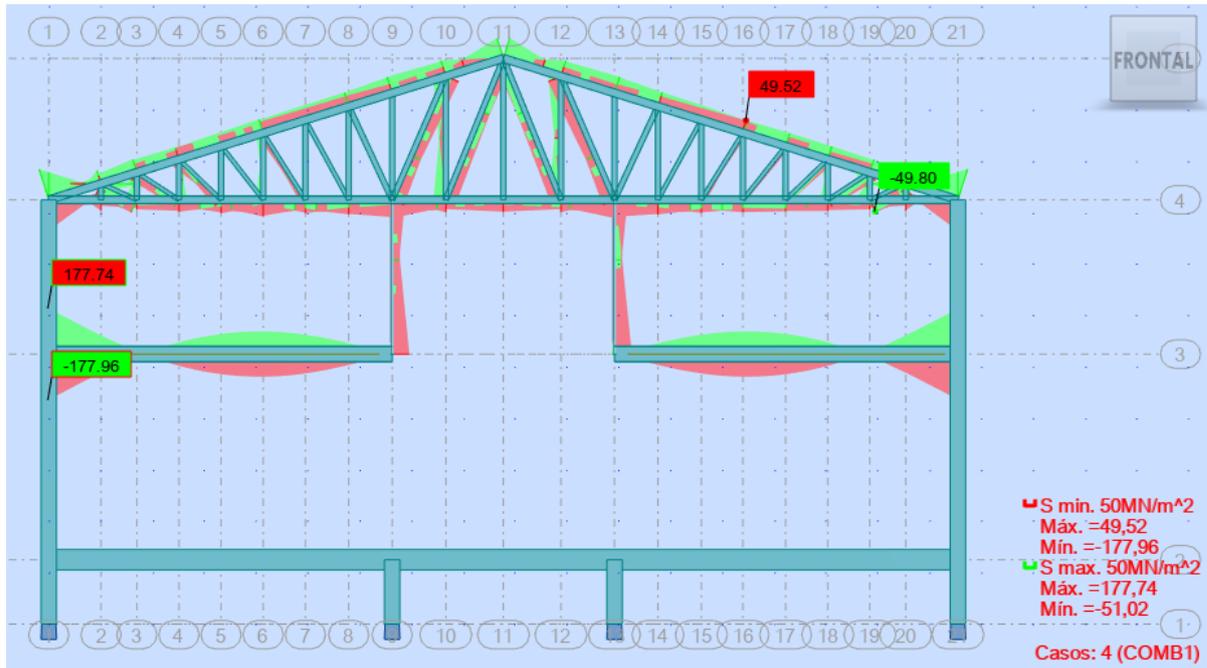
Mediante os resultados obtidos através da equação, foi feita também uma análise computacional do modelo feito no *software Robot*. Para isso, foram aplicadas cargas térmicas gradativamente, a fim de analisar, ao modo linear-elástico, como seria o comportamento dos perfis e quais os seus valores de tensões com e sem a carga térmica. Para tal, foram feitas duas combinações: A primeira, COMB01, contendo apenas o peso próprio dos materiais e as sobrecargas, de acordo com a NBR 6120(ABNT,2019); e a segunda, COMB02, com a adição da carga térmica, variando de maneira gradativa.

Figura 18 - Tensões máximas e mínimas na estrutura com a COMB01 (P.P. + S.C.)



Fonte: O autor (2022)

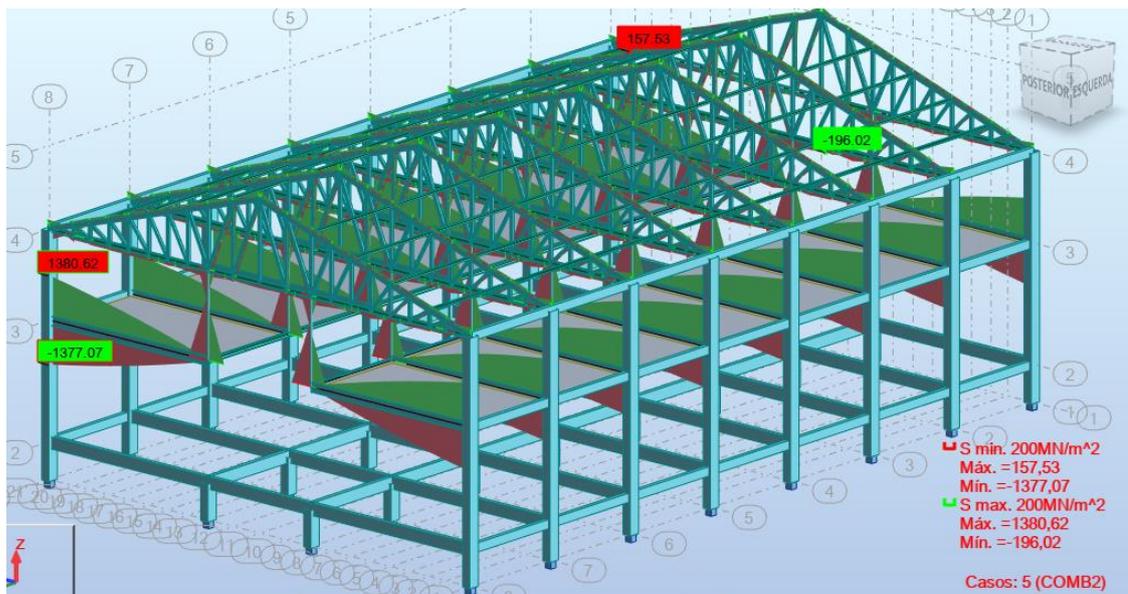
Figura 19 – Valores de tensões vistas no pórtico transversal com a COMB01



Fonte: O autor (2022)

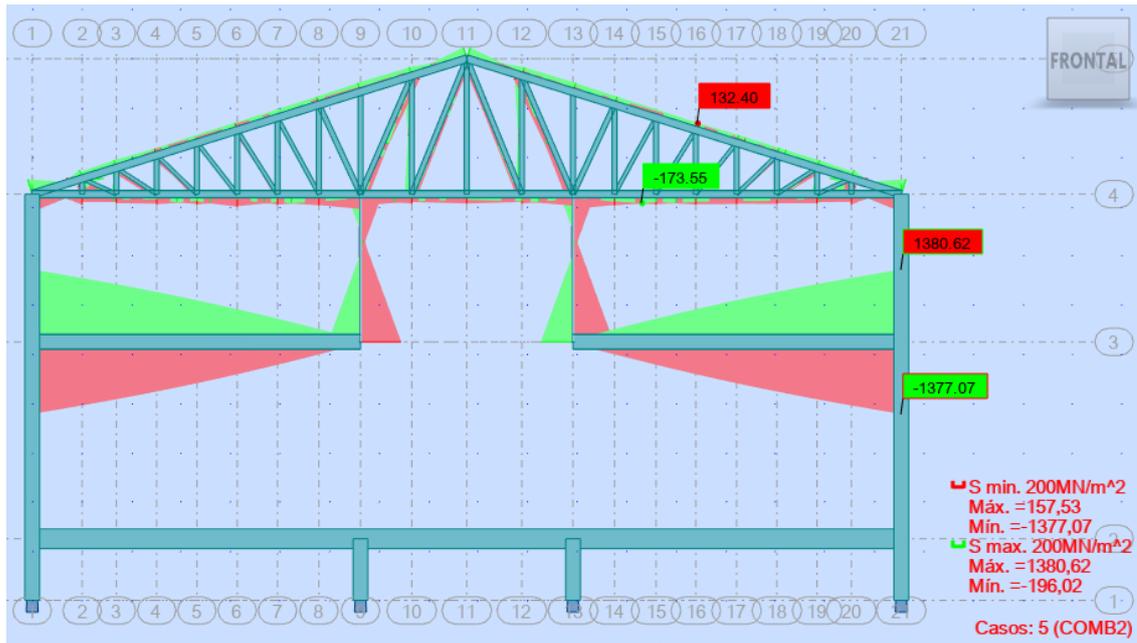
Em seguida, aplicou-se a carga térmica no modelo e foram obtidos os seguintes diagramas para a temperatura 950°C, temperatura aos 60 minutos, TRRF exigido para a edificação em estudo.

Figura 20 - Tensões máximas e mínimas na estrutura com a COMB02 (P.P+ S.C.+ C.T.)



Fonte: O autor (2022)

Figura 21 - Pórtico transversal com a COMB02



Fonte: O autor (2022)

Comparando as figuras, foi possível observar o aumento dos valores de tensões, devido ao acréscimo das cargas térmicas, simulando uma situação de incêndio. Tal aumento se deve ao fato de que com o aumento da temperatura no compartimento, as resistências dos materiais decaem, devido a interação das suas partículas constituintes na fabricação de cada elemento estrutural.

Através das comparações com as mudanças e variações de cargas térmicas, foi possível obter a Tabela 8, que apresenta o aumento das tensões em função da temperatura.

Tabela 6 - Variação das tensões máximas e mínimas em função da temperatura

Carga térmica aplicada (°C)	$\sigma_{\text{máx}}$ (MPa)	$\sigma_{\text{mín}}$ (MPa)
20	168,39	53,58
100	196,90	63,81
200	242,36	76,50
300	374,31	90,62
400	529,13	106,75
500	683,94	123,01
650	916,17	147,38
750	1070,99	163,63
850	1225,80	179,88
950	1388,62	196,02

Fonte: O autor (2022)

A partir dos dados levantados com a modelagem e a simulação de incêndio no *software*, e sabendo que a tensão última do Aço ASTM572 – Gr 50 é de 415MPa, percebeu-se que esse valor de tensão seria alcançado próximo aos 325°C, que, em situação de incêndio baseada nos dados obtidos anteriormente, junto aos gráficos 4 e 5, essa temperatura seria atingida acerca dos primeiros 6 minutos (360 segundos) de atividade de incêndio. Tais resultados comprovam os parâmetros teóricos de que as propriedades de resistência dos materiais são reduzidas com a elevação da temperatura e, desse modo, a adoção de um material de proteção passiva que envolva os elementos é de extrema importância.

### 5.5 Dimensionamento do material de proteção contra incêndio

Para dimensionar o material escolhido para proteção, a argamassa Blaze Shield II, foi necessário encontrar alguns parâmetros específicos do material que serão apresentados a seguir, no Quadro 3.

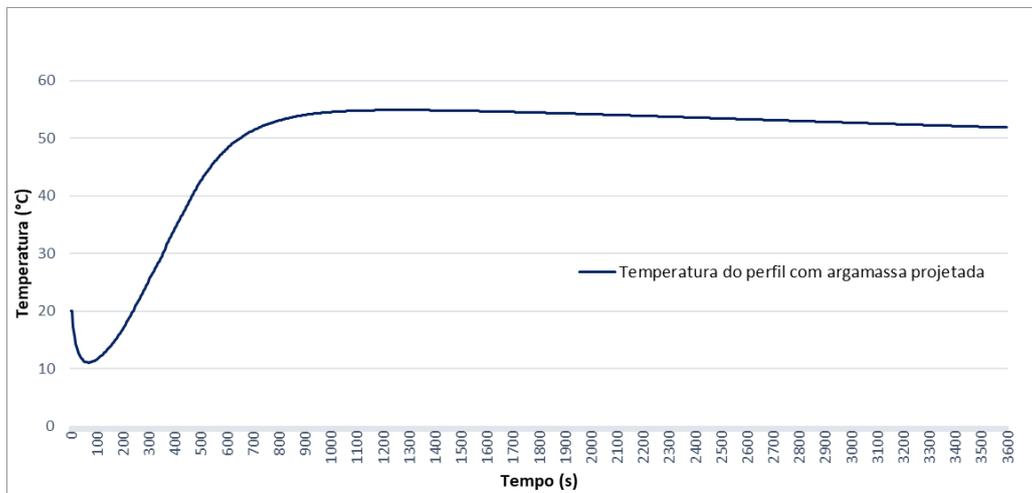
Quadro 3 - Dados da argamassa projetada Blaze shield II

<b>Temperatura (°C)</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>300</b>	<b>400</b>	<b>500</b>	<b>600</b>	<b>700</b>	<b>800</b>	<b>900</b>
<b>Espessura (mm)</b>	22								
<b>Densidade (kg/m<sup>3</sup>)</b>	240								
<b>Calor específico (J/kg°C)</b>	1050	1769	1958	2147	2309	2343	2377	2411	2512
<b>Condutividade térmica (W/m<sup>2</sup>°C)</b>	0,06	0,08	0,09	0,11	0,14	0,173	0,180	0,187	0,208

Fonte: Refrasol (adaptado.)

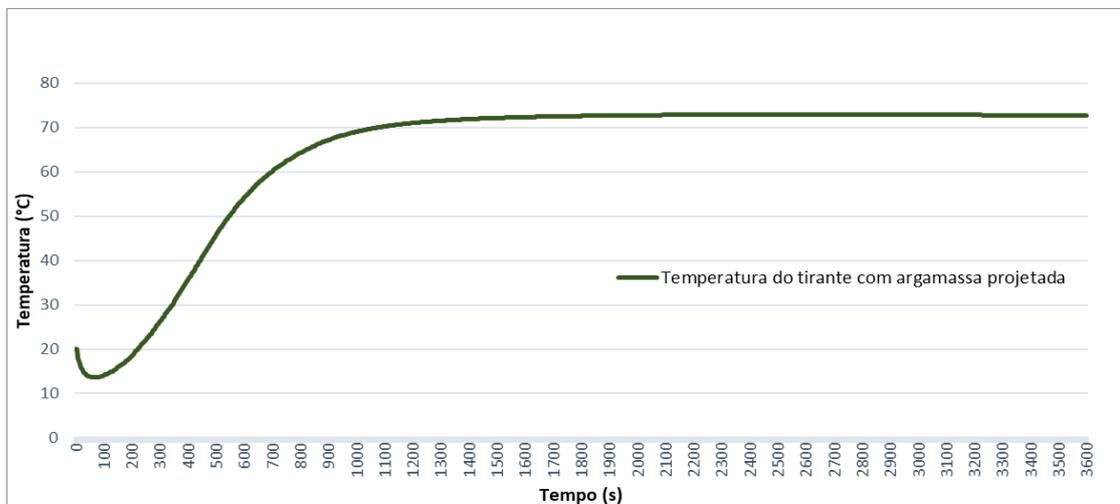
Por conseguinte, através da equação 8, foi possível criar os gráficos da variação de temperatura dos perfis de aço tidos como “críticos”, agora revestidos com o material de proteção térmica, em função do tempo, haja vista que o TRRF continua sendo de 60 minutos (3600 segundos).

Gráfico 6 - Variação da temperatura do perfil de aço protegido com argamassa projetada em função do tempo



Fonte: O autor (2022)

Gráfico 7 - Variação da temperatura do tirante de aço protegido com argamassa projetada, em função do tempo



Fonte: O autor (2022)

Diante dos dados obtidos e de todo o material exposto, comprova-se a eficácia da argamassa projetada, uma vez que os valores de temperatura que chegam no perfil não chegam a 10% dos valores de temperatura atuantes no compartimento, durante o incêndio. Sua aplicação é feita de maneira simples, através de jateamento, conforme mostra a Figura 20.

Figura 22 - Aplicação da argamassa projetada em perfis de aço



Fonte: Youtube (2020)

Por ser composta de materiais cimentícios, a argamassa é considerada um excelente material de isolamento térmico. Explorando suas vantagens técnicas, atreladas ao seu baixo custo de implantação, tal produto se mostra eficaz e viável para este tipo de edificação que foi estudada neste trabalho.

Embora o aspecto estético não seja tão atraente, para elementos que fiquem embutidos em forros ou lajes, a argamassa se torna a melhor opção, ou até mesmo para os apreciadores de texturas mais rústicas.

Figura 23 - Aspecto da textura da argamassa aplicada no perfil de aço.



Fonte: CYPE Ingenieros, S.A (2022)

## 6 CONCLUSÕES

Diante de tudo que foi estudado, revisado bibliograficamente e analisado, via modelagem computacional e demais cálculos, foi possível entender, de maneira intrínseca, o comportamento estrutural das construções em elementos mistos, quando submetidos a uma situação de incêndio.

A partir dos gráficos de variação térmica no perfil de aço, ficou comprovada a eficácia da argamassa projetada como material de proteção passiva contra incêndio. Com o material, as temperaturas que chegam no perfil de aço são de menor intensidade, se comparada ao meio do compartimento em chamas, o que acarreta no prolongamento da estabilidade da estrutura por mais tempo, assegurando a evacuação, os trabalhos do combate ao incêndio, podendo até contribuir para a conservação dos patrimônios existentes na edificação. Cabe salientar que as condições de estabilidade foram realizadas por meio de modelo tridimensional da estrutura via *software Robot*, donde foram obtidas as envoltórias de tensões máximas com a variação da carga térmica.

Os resultados e análises teóricas feitas com relação ao concreto também foram pertinentes para verificar o comportamento do elemento em altas temperaturas e a sua própria composição já existem materiais cimentícios. Vale ressaltar a atenção para os elementos de aço que, nesse caso em estudo, são considerados mais críticos, devido a todas as condições existentes da edificação.

Além disso, cabe a sugestão para que seja implantando um sistema de proteção contra incêndio na Igreja, ativa e passiva, uma vez que a edificação está em risco, por alguns dos seus elementos estruturais não resistirem até o TRRF estabelecido e, além disso, por possuir eletrodomésticos como ar-condicionado, que podem ser focos de incêndios e, junto a isso, a propagação do sinistro, devido aos demais móveis que estão no interior da edificação sacra, como os bancos e demais objetos de madeira, material de grande potencial calorífico. Sendo assim, fica aqui a sugestão.

Para trabalhos futuros, vale a sugestão de uma análise não linear física e geométrica das propriedades mecânicas dos elementos estruturais com e sem a proteção térmica, em função da temperatura, afim de obter resultados ainda mais precisos.

Desse modo, o presente trabalho conclui que é de suma importância a adesão dos materiais de proteção térmica de maneira passiva, devido a sua grande capacidade de não propagar as altas temperaturas do compartimento para os elementos que estão envolvidos em

sua proteção, bem como a adesão dos métodos e materiais de proteção ativa, tais como alarmes, sinalizações e detectores de incêndio, a fim de prevenir e proteger a edificação e seus usuários.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14724: Informação e documentação: trabalhos acadêmicos – apresentação.** Rio de Janeiro, 2011.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8800: projeto de estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto em edifícios.** Rio de Janeiro, 2008.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14323: projeto de estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio.** Rio de Janeiro, 2013a.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14432: exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – procedimento.** Rio de Janeiro, 2001c.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15200: projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio.** Rio de Janeiro, 2012.

ABRACOPEL. **O que é proteção passiva contra incêndio (PPI).** Por: Sérgio Roberto Santos e Tatiane Musardo. 2014. Disponível em: <http://abracopel.org/artigos-tecnicos/o-que-e-protecao-passiva-contraincendio-ppi/>. Acesso em: 07 nov 2022.

CALDAS, R.B. **Análise numérica de estruturas de aço, concreto e mistas em situação de incêndio.** Belo Horizonte, MG, 2008. Dissertação (doutorado) em Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais. Programa de pós-graduação em Engenharia de estruturas, UFMG, 2008.

CBMSE – Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Sergipe. **OTN 001/2013 - Classificação das edificações e/ou áreas de risco quanto ao risco de incêndio, altura e ocupação para fins de determinação dos sistemas de segurança contra incêndio e pânico a serem exigidos pelo CBMSE.** Aracaju, SE, 2013.

CEN – EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 1991-1-2: Eurocode 1 – Basis of design and Actions on Structures – Part 1-2: General Rules – Structural fire design.** Brussels, 2002

COSTA, C. N. **Estruturas de concreto em situação de incêndio.** São Paulo: PEF-EPUSP, 2002. Dissertação (Mestrado) em Engenharia Civil – Estruturas, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2002.

COSTA, C. N.; SILVA, V. P. **O método do tempo equivalente para o projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 47., 2005.

COSTA, C. N.; SILVA, V. P. **Revisão histórica das curvas padronizadas de incêndio.** São Paulo, 2006.

GERKEN, A. L. R. **Materiais de proteção térmica para sistemas construtivos de baixo custo estruturados em aço.** Belo Horizonte, MG, 2007. Dissertação (mestrado) em Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais. Programa de pós-graduação em Engenharia de estruturas, UFMG, 2007.

LIMA, R. C. A. **investigação do comportamento de concretos em temperaturas elevadas.** Porto Alegre, 2005. Dissertação (doutorado) em Engenharia Civil, Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul. Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, UFRGS, 2005.

LEAL, L. A. A. S. **Análise elástica dos efeitos da não linearidade geométrica em estruturas de aço.** São Paulo, SP, 2014. Dissertação (mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, EPUSP, 2014.

PACHECO, J.; COUTO, D.; HELENE, P. **Colapso do edifício Wilton Paes de Almeida – SP: Lições aprendidas.** In: Congreso Latinoamericano de Patología de Construcción (CONPAT), XV, 2019. Chiapas, México, 2019. DOI: <https://doi.org/10.21041/CONPAT2019/V2PAT243>

REFRASOL. **Dados da Argamssa Blaze Shield II.** 2022. Disponível em: <https://refrasol.com.br/servicos/protecao-contrafogo/> . Acesso em 20 de out. 2022

RODRIGUES, J.P.C.; OLIVEIRA, R.L.G. **Dimensionamento de estruturas em situação de incêndio segundo as Normas Brasileiras.** 1 ed. São Paulo. Editora Oficina de Textos, 2021.

SILVA, V. P. **Estrutura de aço em situação de incêndio.** Reimpressão. São Paulo, 2004.