

**FACULDADE DOCTUM  
BRENDA BARROS XAVIER  
GABRIELA DE OLIVEIRA MENZONATTO**

**RESISTÊNCIA DA ALVENARIA ESTRUTURAL AO INCÊNDIO:  
CONTRIBUIÇÃO ÀS FUTURAS NORMAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS**

JUIZ DE FORA  
2020

**BRENDA BARROS XAVIER  
GABRIELA DE OLIVEIRA MENZONATTO**

**RESISTÊNCIA DA ALVENARIA ESTRUTURAL AO INCÊNDIO:  
CONTRIBUIÇÃO ÀS FUTURAS NORMAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS.**

Monografia de Conclusão de Curso,  
apresentada ao curso de Engenharia  
Civil, Faculdade Doctum de Juiz de Fora,  
como requisito parcial à obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador (a): Prof<sup>ª</sup>. Mestre Ana Cristina  
Junqueira Ribeiro

JUIZ DE FORA  
2020

**Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca Faculdade Doctum/JF**

Xavier, Brenda Barros.

Resistência da alvenaria estrutural ao incêndio/  
Brenda Barros Xavier, Gabriela de Oliveira Menzonatto –  
2020.

91f.

Monografia (Curso de Engenharia Civil) –  
Faculdade Doctum Juiz de Fora.

1. Alvenaria estrutural. 2. Incêndio
- I. Resistência da alvenaria estrutural ao incêndio.
- II. Faculdade Doctum Juiz de Fora

**BRENDA BARROS XAVIER  
GABRIELA DE OLIVEIRA MENZONATTO**

**RESISTÊNCIA DA ALVENARIA ESTRUTURAL AO INCÊNDIO:  
CONTRIBUIÇÃO ÀS FUTURAS NORMAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS.**

Monografia de Conclusão de Curso,  
submetida à Faculdade Doctum de Juiz de  
Fora, como requisito parcial à obtenção do  
título de Bacharel em Engenharia Civil e  
aprovada pela seguinte banca  
examinadora.

---

Prof<sup>a</sup>. Mestre Ana Cristina Junqueira Ribeiro  
Orientador (a) e Docente da Faculdade Doctum - Unidade Juiz de Fora

---

Prof. Mestre Douglas Cassio Seiberlich de Paiva  
Docente da Faculdade Doctum - Unidade Juiz de Fora

---

Prof. Mestre Luis Gustavo Schroder e Braga  
Docente da Faculdade Doctum - Unidade Juiz de Fora

Examinada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus pela benção de me proporcionar cursar a faculdade de Engenharia Civil e chegar tão longe na busca dos meus sonhos.

Agradeço a minha mãe Rosane pela minha criação, apoio, orgulho e por ter feito de mim quem sou.

Aos meus irmãos Bruno e Vitor por sempre estarem do meu lado em cada conquista e batalha e por me apoiarem em tudo.

As meus amigos por me acompanharem nesse período e compartilharem comigo todas as alegrias e dificuldades da faculdade.

A minha orientadora Ana Cristina Junqueira por ser tão atenciosa e me auxiliar tanto no trabalho, por me cobrar e me incentivar a sempre dar o melhor de mim.

Agradeço a faculdade Doctum pela oportunidade de realizar o curso de engenharia civil e a todos os professores que contribuíram para o meu crescimento e agregaram muito conhecimento e valor na minha profissão.

**Xavier, Brenda Barros.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais, que me deram apoio e incentivo nas horas difíceis. Ao meu Pai que mesmo não estando mais aqui, me deu forças para enfrentar todos os desafios da minha vida. À minha Mãe que me deu base e está comigo em todos os momentos difíceis da minha vida.

Sou grata também aos meus amigos que não me deixaram ser vencida pelo cansaço.

Agradeço a todos os professores pelos ensinamentos e paciência ao longo do curso.

Por fim, agradeço imensamente a Deus por ter-me cedido saúde, força e disposição para concluir a faculdade de Engenharia Civil.

**Menzonatto, Gabriela de Oliveira.**

*“Deus nunca disse que a jornada seria fácil,  
mas Ele disse que a chegada valeria a pena.”*

Max Lucado

## RESUMO

XAVIER, B.B.; MENZONATTO, G.O. **Resistência da alvenaria estrutural ao incêndio: Contribuição às futuras normas do Estado de Minas Gerais.** 91f. Monografia de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Faculdade Doctum, Juiz de Fora, 2020.

Em Minas Gerais há uma carência de normatização que trata do dimensionamento da alvenaria estrutural em situação de incêndio uma vez que há um avanço de edificações construídas por esse método e pelas características distintas desse tipo construtivo com as construções de alvenaria convencional de concreto armado. Devido a isso o Corpo de Bombeiros de Minas Gerais assim como a norma Desempenho de Edificações recomendam a utilização da norma europeia *Eurocode 6:2005* como base de dimensionamento dessas estruturas para apresentarem resistência ao fogo por tempo suficiente a garantir fuga dos ocupantes e reduzir o risco de colapso estrutural. São realizados estudos através revisão bibliográfica qualitativa de autores e normativas referêntes à resistência da alvenaria estrutural em situação de incêndio. Com intuito de propor parâmetros para uma possível qualificação e estruturação de legislações acerca do tema, são apresentados os parâmetros tabulares exigidos por normativas brasileiras de elementos construtivos e instruções técnicas do Corpo de Bombeiros de Minas Gerais que tratam de incêndio em estruturas e edifícios. São apresentados também os principais conceitos de incêndio e sobre as formas de propagação do fogo e sobre o método construtivo de alvenaria estrutural e seus elementos estruturais, além de como o fogo se propaga em seus componentes. Ao final é realizada análise comparativa entre as recomendações das normativas nacionais e estaduais com o código europeu a fim de mesclar o que há de interessante em cada normativa e instrução a fim de se obter parâmetros tabulares para resistência da alvenaria estrutural em situação de incêndio.

**Palavras-chave:** Alvenaria estrutural. Incêndio. Resistência da edificação.



## ABSTRACT

In Minas Gerais there is a lack of standardization that deals with the dimensioning of structural masonry in a fire situation, since there is an advance of buildings built by this method and by the distinct characteristics of this constructive type with conventional reinforced concrete masonry constructions. Because of this, the Fire Department of Minas Gerais as well as the building performance standard recommend the use of the European standard Eurocode 6 as a basis for dimensioning these structures to be fire resistant for a sufficient time to guarantee the escape of the occupants and reduce the risk of collapse structural. Studies are carried out through a qualitative bibliographic review of authors and norms referring to the resistance of structural masonry in a fire situation. In order to propose parameters for a possible qualification and structuring of legislation on the subject, the tabular parameters required by Brazilian standards of construction elements and technical instructions of the Fire Department of Minas Gerais that deal with fire in structures and buildings are presented. Also presented are the main concepts of fire and the ways in which fire is propagated and the structural masonry construction method and its structural elements, as well as how fire propagates in its components. At the end, a comparative analysis is carried out between the recommendations of national and state regulations with the European code in order to merge what is interesting in each regulation and instruction in order to obtain tabular parameters for the resistance of structural masonry in a fire situation.

**Keywords:** Structural masonry. Fire. Building resistance.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Tetraedro do fogo.....	21
Figura 2 - Representação da propagação do calor por condução, convecção e irradiação.....	23
Figura 3 - Incêndio no Museu Nacional.....	25
Figura 4 - Edifício Monadnock.....	27
Figura 5 - Hotel Escalibur de Las Vegas (EUA) .....	28
Figura 6 - Técnicas em alvenaria que as empresas constroem .....	30
Figura 7 - Elementos da alvenaria estrutural.....	31
Figura 8 - Dimensões nominais do bloco de concreto por família .....	32
Figura 9 - Requisitos para argamassa nos estados fresco e endurecido .....	33
Figura 10 - Lançamento de graute na alvenaria.....	34
Figura 11 - Exemplos de armaduras na alvenaria.....	35
Figura 12 - Esquema de transferência de calor em uma parede submetida a incêndio .....	36
Figura 13 - Curva típica do processo de desenvolvimento de um incêndio .....	37
Figura 14 - Temperatura na face não exposta do bloco .....	40
Figura 15 - Aumento da temperatura ao longo da linha média do bloco sem revestimento e sem preenchimento .....	41
Figura 16 - Aumento da temperatura ao longo da linha média do bloco com revestimento e com preenchimento .....	41
Figura 17 - Variação dos fatores de redução do concreto com a temperatura.....	46
Figura 18 - Fator de redução da resistência do concreto à compressão.....	50
Figura 19 - Bloco cerâmico de vedação com furos na horizontal e vertical.....	56
Figura 20 - Bloco cerâmico estrutural com paredes maciças.....	57
Figura 21 - Bloco cerâmico estrutural cerâmico e perfurado.....	57
Figura 22 - Mapa dos Eurocódigos .....	65
Figura 23 - Resistência do concreto à compressão em função da temperatura .....	70
Figura 24 - Redução da resistência do aço em função da temperatura .....	71
Figura 25 - Fluxograma dimensionamento da alvenaria estrutural ao incêndio .....	79

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Espessura mínima para paredes de alvenaria com blocos de concreto.	39
Tabela 2 - Fatores de redução para o concreto .....	46
Tabela 3 - Valores das relações $f_c, \theta/f_{ck}$ e $E_c, \theta/E_c$ para concretos predominantemente silicosos e calcários .....	50
Tabela 4 - Valores das relações $f_y, \theta/f_{yk}$ e $E_s, \theta/E_s$ para aços de armadura passiva	51
Tabela 5 - Valores das relações $f_{py}, \theta/f_{pyk}$ e $E_{ps}, \theta/E_{ps}$ para barras de armadura ativa.....	52
Tabela 6 - Dimensões mínimas de lajes .....	53
Tabela 7 - Dimensões mínimas para vigas .....	54
Tabela 8 - Dimensões mínimas para tirantes .....	54
Tabela 9 - Dimensões mínimas para pilares .....	55
Tabela 10 - Resistência característica do graute .....	68
Tabela 11 - Espessura mínima de paredes REI carregadas para concreto de agregado normal e leve.....	68
Tabela 12 - Espessura mínima de paredes REI carregadas de alvenaria cerâmica .	69
Tabela 13 - Resistência característica do graute segundo a Eurocode 6 .....	76
Tabela 14 - Espessura mínima para lajes apoiadas em vigas .....	77

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Estrutura do trabalho.....	20
Quadro 2 - Linha do tempo de incêndios no Brasil.....	24
Quadro 3 - TRRF de elementos construtivos .....	48
Quadro 4 - Carga de incêndio grupos A-1 e A-2 .....	48
Quadro 5 - Tempos requeridos de resistência ao fogo em minutos .....	58
Quadro 6 - Classificação das edificações e áreas de risco quanto à ocupação.....	60
Quadro 7 - Classificação das edificações e áreas de risco quando à carga de incêndio.....	63
Quadro 8 - Valores de $\theta_1$ e $\theta_2$ em função dos materiais .....	69
Quadro 9 - Classificação da edificação quanto à carga de incêndio .....	72
Quadro 10 - Classificação da edificação quanto ao uso e ocupação .....	73
Quadro 11 - Exigências de resistência ao fogo .....	74
Quadro 12 - Redução da resistência do concreto à compressão em função da temperatura segundo a NBR 15200 e a Eurocode 6.....	75
Quadro 13 - Redução da resistência do aço em função da temperatura .....	76
Quadro 14 - Espessura mínima de paredes REI carregadas para concreto de agregado normal e leve.....	78
Quadro 15 - Espessura mínima de paredes REI carregadas de alvenaria cerâmica	78
Quadro 16 - Dimensionamento da alvenaria estrutural para um TRRF de 120 minutos.....	80

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
BNH	BANCO NACIONAL DA HABITAÇÃO
CA	CONCRETO ARMADO
CBMMG	CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE MINAS GERAIS
CP	AÇO DE PROTENÇÃO
DF	DISTRITO FEDERAL
EI	ESTANQUEIDADE E ISOLAMENTO TÉRMICO
EI-M	ESTANQUEIDADE, ISOLAMENTO TÉRMICO E RESISTÊNCIA A IMPACTOS MECÂNICOS
ELU	ESTADO LIMITES ÚLTIMO
EN	NORMA EUROCODE
EU	UNIÃO EUROPÉIA
EUA	ESTADOS UNIDOS DA AMERICA
GLP	GÁS LIQUEFEITO DE PETRÓLEO
IT	INSTRUÇÃO TÉCNICA
KN	KILONEWTON
MG	MINAS GERAIS
MPA	MEGA PASCAL
NBR	NORMA BRASILEIRA
R	RESISTÊNCIA
REI	RESISTÊNCIA, ESTANQUEIDADE E ISOLAMENTO TÉRMICO
REI-M	RESISTÊNCIA, ESTANQUEIDADE, ISOLAMENTO TÉRMICO E RESISTÊNCIA A IMPACTOS MECÂNICOS
RJ	RIO DE JANEIRO
RS	RIO GRANDE DO SUL
SP	SÃO PAULO
SPDA	SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
SUS	SISTEMA ÚNICO DE SAÚDE
TRRF	TEMPO REQUERIDO DE RESISTÊNCIA AO FOGO

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\%$	Por cento
$^{\circ}\text{C}$	Grau Celsius
$\theta_{\text{cr}}$	Temperatura do concreto
$k_{\text{cn},\theta}$	Fator de redução para a resistência característica à compressão do concreto de densidade normal
$k_{\text{cb},\theta}$	Fator de redução para a resistência característica à compressão do concreto de baixa densidade
$k_{E_{\text{cn}},\theta}$	Fator de redução para o módulo de elasticidade do concreto de densidade normal
$k_{E_{\text{cb}},\theta}$	Fator de redução para o módulo de elasticidade do concreto de baixa densidade
$\varepsilon_{\text{cun},\theta}$	Deformação do concreto de densidade normal correspondente a $f_{\text{ckn},\theta}$
$\rho_{\text{cn}}$	Massa específica do concreto de densidade normal
$\rho_{\text{cb}}$	Massa específica do concreto de baixa densidade
$\Delta l_{\text{cn}} / l_{\text{cn}}$	Variações de alongamento
$c_{\text{cn}}$	Calor específico
$\lambda_{\text{cn}}$	Condutividade térmica
$f_{\text{c},\theta}$	Resistência à compressão do concreto submetido a diferentes temperaturas
$f_{\text{ck}}$	Resistência à compressão do concreto submetido a situação normal
$E_{\text{c},\theta}$	Módulo de elasticidade do concreto submetido a diferentes temperaturas
$E_{\text{c}}$	Módulo de elasticidade do concreto submetido a situação normal
$k_{\text{c}}$	Fator de redução de resistência do concreto à compressão
$f_{\text{y},\theta}$	Resistência ao escoamento do aço da armadura passiva submetido a diferentes temperaturas
$f_{\text{yk}}$	Resistência característica ao escoamento em situação normal
$E_{\text{s},\theta}$	Módulo de elasticidade do aço submetido a diferentes temperaturas
$E_{\text{s}}$	Módulo de elasticidade do aço submetido a situação normal
$f_{\text{py},\theta}$	Resistência ao escoamento do aço de fios e cordoalhas da armadura ativa submetido a diferentes temperaturas
$f_{\text{pyk}}$	Resistência ao escoamento do aço de fios e cordoalhas da armadura ativa submetido a situação normal
$E_{\text{ps},\theta}$	Módulo de elasticidade do aço de fios e cordoalhas submetido a diferentes temperaturas

$E_{ps}$	Módulo de elasticidade do aço de fios e cordoalhas submetido a situação normal
$I_y / I_x$	Dimensão em y e x
$\mu_{fi}$	Relação entre o esforço de cálculo na situação de incêndio e o esforço resistente normal de cálculo do pilar em questão em situação de temperatura normal
$b_{mín}/C_1$	Espessuras mínimas e distâncias à face do concreto
$F_{cvk}$	Temperatura do concreto
$f_{ck}$	Resistência característica do concreto do graute ao corte
$f_b$	Resistência à compressão dos blocos
$\rho$	Densidade dos blocos
$\alpha$	Relação entre as solicitações de cálculo da parede em situação de incêndio e as solicitações de cálculo em situação normal

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>316</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b> .....	<b>18</b>
1.1.1	Objetivo Geral .....	18
1.1.2	Objetivos Específicos .....	18
<b>2</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>19</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>20</b>
<b>4</b>	<b>INCÊNDIO</b> .....	<b>21</b>
<b>4.1</b>	<b>Propagação do fogo</b> .....	<b>22</b>
4.1.1	Condução .....	22
4.1.2	Convecção .....	22
4.1.3	Irradiação .....	23
<b>4.2</b>	<b>Incêndios no Brasil</b> .....	<b>23</b>
<b>5</b>	<b>ALVENARIA ESTRUTURAL</b> .....	<b>26</b>
<b>5.1</b>	<b>Breve histórico</b> .....	<b>26</b>
<b>5.2</b>	<b>Alvenaria no Brasil</b> .....	<b>28</b>
<b>5.3</b>	<b>Vantagens e desvantagens</b> .....	<b>29</b>
<b>5.4</b>	<b>Componentes da alvenaria estrutural</b> .....	<b>30</b>
5.4.1	Bloco .....	31
5.4.2	Argamassa de assentamento .....	32
5.4.3	Graute .....	33
5.4.4	Armação .....	34
<b>6</b>	<b>COMPORTAMENTO DA ALVENARIA ESTRUTURAL AO INCÊNDIO</b> .....	<b>36</b>
<b>7</b>	<b>NORMATIVAS BRASILEIRAS DE ESTRUTURAS</b> .....	<b>43</b>
<b>7.1</b>	<b>Norma Desempenho – NBR 15575</b> .....	<b>43</b>
<b>7.2</b>	<b>Normas nacionais de segurança em situações de incêndio</b> .....	<b>44</b>
7.2.1	NBR 14323: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas aço-concreto de edifícios em situação de incêndio .....	44
7.2.2	NBR 14432: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos .....	47
7.2.3	NBR 15200: Projetos de estruturas em concreto em situação de incêndio .....	48
7.2.4	NBR 15270: Componentes cerâmicos – Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação .....	56



<b>7.3</b>	<b>Instruções Técnicas de Minas Gerais.....</b>	<b>58</b>
7.3.1	IT 06: Segurança estrutural nas edificações .....	58
7.3.2	IT 09: Carga de incêndio nas edificações e áreas de risco .....	63
7.3.3	IT 40: Adequação de medidas de segurança para edificações .....	63
<b>8</b>	<b>EUROCODE.....</b>	<b>65</b>
8.1	EN 1996: <i>Eurocode 6</i> – Projeto de estruturas em alvenaria .....	66
<b>9</b>	<b>ANÁLISES E RESULTADOS .....</b>	<b>72</b>
9.1	Classificação da Edificação .....	72
9.2	Exigências de Resistência.....	74
9.3	Componentes Estruturais.....	74
9.4	Resultados Obtidos.....	79
<b>10</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>82</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>83</b>
	<b>GLOSSÁRIO .....</b>	<b>87</b>
	<b>ANEXO - Cargas de incêndio específicas por ocupação (normativo) .....</b>	<b>88</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A segurança contra incêndio em edificações é uma área da Engenharia que possui propósito garantir que a estrutura permaneça apresentando as mesmas características estruturais sem romper ou apresentar fissuras por um determinado tempo em contato com fogo em alta temperatura ou incêndio. Esse tempo de resistência da estrutura é necessário para garantia da evacuação em segurança de todas as pessoas presentes na edificação, além de proporcionar um tempo para que possa se dar início ao combate ao incêndio pelas forças especializadas de brigada de incêndio ou corpo de bombeiros.

Os incêndios são desastres ocorridos de forma natural ou devido às causas humanas que tem como principal característica sua fácil e rápida propagação uma vez que seus elementos fundamentais são o comburente que é o oxigênio, algum tipo de combustível e uma fonte de calor.

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo que se caracteriza basicamente por não possuir pilares e vigas para sustentação da estrutura que é feita através da junção e modulação das paredes que recebem e resistem a todos os esforços solicitantes além de representar o papel de vedação vertical da edificação (BUSI, 2009).

Esse tipo construtivo pode ser visto através dos tempos e ao redor do mundo com a utilização dos mais diversos componentes e materiais construtivos até que se tornasse a técnica construtiva conhecida atualmente com características e técnicas bem definidas e testadas cientificamente por estudiosos. Atualmente o mercado da construção com a utilização da técnica de alvenaria estrutural vem crescendo e se expandindo pelo mundo, demandando cada vez mais profissionais especializados na área.

Esse crescimento se deve ao fato de que esse tipo de construção possui vantagens como a racionalização de materiais, pouco desperdício, retrabalho ou perdas, limpeza na obra e velocidade na construção. Essas características trazem o retorno do valor investido mais rápido, o que torna essa construção bem vista pelas grandes construtoras de residências multifamiliares de baixo custo que vêm adotando cada vez mais esse método.

Cidades metropolitanas possuem normalmente população com mais de 1 milhão de pessoas, e além desse adensamento de pessoas existem outros fatores catalizadores como tráfego intenso, amplas e extensas redes de distribuição elétrica por postes e fios, construções irregulares nas favelas e cortiços muitas vezes construídos de materiais altamente abrasivos. Segundo DEL CARLO (2008, p. 9) “Tirando certas peculiaridades de clima e instalações de altos riscos, como exploração de bacias petrolíferas, é importante lembrar que as ocorrências de incêndios são maiores em regiões mais densamente povoadas”.

Com a expansão da construção de grandes conglomerados de prédios multifamiliares que utilizam desse método de construção, vem também a preocupação com a segurança de quem reside nesses prédios. Nesse âmbito é necessário realizar uma análise do comportamento da alvenaria estrutural perante as situações de incêndio, uma vez que as grandes cidades, com elevado índice habitacional, possuem características mais propensas à ocorrência de incêndios (CORREA et al, 2017).

Além dos prejuízos materiais e consequentemente socioeconômicos de uma ocorrência de incêndio, existe a letalidade que um incêndio possui ao gerar vítimas fatais dos acidentes que podem derivar da exposição das vítimas à fumaça, à alta temperatura e as chamas. Diante disso se torna necessário um estudo e normatizações mais amplas e eficientes que tratem da segurança das pessoas que residem e ocupam prédios construídos em alvenaria estrutural nessas situações de risco.

Existem normas e instruções técnicas vigentes no estado de Minas Gerais que possibilitam um entendimento básico sobre o dimensionamento de estruturas de alvenaria e concreto quando submetidas ao fogo. Porém quando se refere à alvenaria estrutural ainda não há normativa nacional ou estadual específica.

Algumas normativas estrangeiras abrangem o dimensionamento da alvenaria estrutural em situação de incêndio, como a *Eurocode 6: Parte 1-2:2005*, que pode ser usada como referência aos estudos sobre o tema e a elaboração de uma possível normativa nacional.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar as Instruções Técnicas (IT's) do Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (CBMMG) e realizar uma comparação com a norma *Eurocode*<sup>1</sup> 6:2005 Projeto de estruturas de alvenaria, para edificações de alvenaria estrutural.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Apresentar o processo construtivo da alvenaria estrutural ligado às resistências em situações de incêndio;
- Realizar uma análise comparativa das normas de incêndio em edificações de alvenaria estrutural com base em autores que realizaram estudos semelhantes;
- Propor parâmetros para uma possível qualificação e estruturação de legislações brasileiras pertinentes à composição da alvenaria estrutural em situação de incêndio a partir dos resultados encontrados na análise comparativa.

---

<sup>1</sup> Os Eurocódigos são um conjunto de 10 normas desenvolvidas pelo Comitê Europeu de Normatização que cobrem aspectos técnicos específicos para projetos estruturais.

## 2 JUSTIFICATIVA

De acordo com a história, a estrutura de alvenaria é considerada um dos sistemas de construção mais utilizado. Demonstrando a importância de estudos sobre a resistência da alvenaria em casos de incêndio. Porém, ainda não existe normatização quanto ao uso de alvenaria estrutural em situações de incêndio em âmbito nacional, justificando-se assim, o uso de Normas aplicadas pelo Corpo de Bombeiros, para que sejam estabelecidas condições quanto ao tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF).

No estado de Minas Gerais, por exemplo, existem Instruções Técnicas do Corpo de Bombeiros referentes a estruturas de concreto em situações de incêndio e prevenção de possíveis incêndios. Porém, não existe no estado de Minas Gerais uma normativa específica sobre a resistência dos blocos de alvenaria estrutural nessas situações.

Na última década vem crescendo consideravelmente no Brasil a quantidade de obras realizadas com o método construtivo de alvenaria estrutural a partir do incentivo às construções de moradias populares que exigem menores prazos de execução e maior economia. Sendo assim, se faz necessária uma orientação do dimensionamento das estruturas a fim de garantir a segurança da população que utiliza dessas edificações e para que possa ser evitado um possível colapso estrutural em uma circunstância de exposição ao fogo.

Devido a essa falta de normatização específica, a norma desempenho ABNT NBR 15575:2015 recomenda que seja aplicada a norma europeia *Eurocode 6:2005* que tem como finalidade fornecer critérios de projeto estrutural para edificações no tocante à resistência ao fogo. Por conseguinte, faz-se necessária uma comparação entre as normas existentes no estado de Minas Gerais com a *Eurocode 6:2005*, o que justificou a pesquisa realizada neste trabalho com objetivo de analisar e propor possíveis adequações na normatização do estado.

### 3 METODOLOGIA

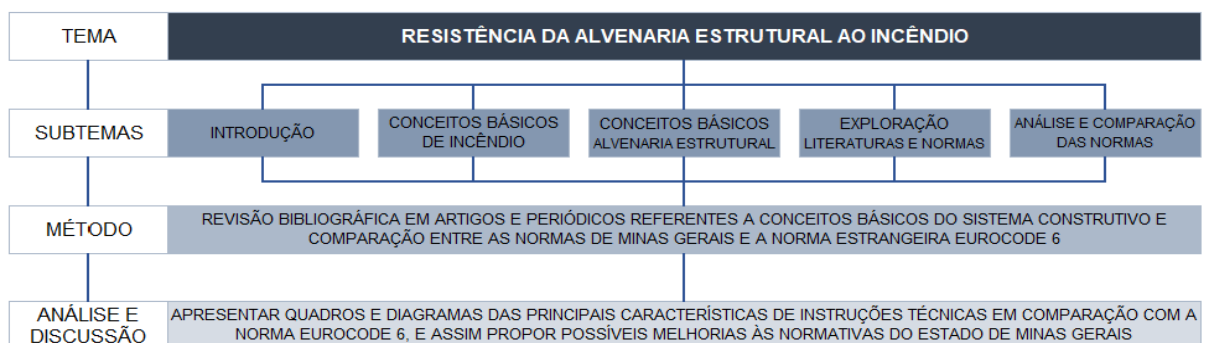
Será realizada uma pesquisa descritiva para expor e qualificar o método construtivo de alvenaria estrutural em situação de incêndio através de revisão bibliográfica em periódicos, normas regulamentadoras, Instruções Técnicas do Corpo de Bombeiros de Minas Gerais e em artigos que correlacionaram as normas brasileiras com a norma estrangeira *Eurocode 6:2005* referente a conceitos básicos do sistema construtivo e entendimento da resistência da alvenaria estrutural ao incêndio.

Para fins deste estudo serão analisados a estrutura como um todo sendo o conjunto dos elementos bloco, argamassa, graute e armação.

A pesquisa foi realizada através dos descritores: alvenaria estrutural, incêndio em edificações, instruções técnicas, *Eurocode*, propagação do fogo, resistência ao incêndio, dimensionamento de alvenaria estrutural e normativas de estruturas.

A estrutura deste trabalho desenvolve-se na temática sobre a Resistência da alvenaria estrutural ao incêndio onde os temas e subtemas são abordados a partir de uma compreensão de literaturas acerca do tema, com um breve histórico sobre a técnica construtiva, a chegada e desenvolvimento de normativas no Brasil, conhecendo de forma resumida os componentes básicos que compõem a estrutura atualmente. A fim de viabilizar a proposta de apresentar a resistência do material foram exploradas normas brasileiras e a norma estrangeira *Eurocode 6:2005*, assim como estudos já realizados para apresentar os resultados. Finalizando com as análises, discussões e conclusão. A estrutura do trabalho foi compilada conforme apresentado o Quadro 1.

Quadro 1 - Estrutura do trabalho



Fonte: As autoras, 2020.

## 4 INCÊNDIO

Desde os primórdios da humanidade procuramos maneiras diferentes de manusear e controlar o fogo para diversas atividades e objetivos do dia a dia. Porém o fogo pode sair de controle e se alastrar de maneira a causar danos humanos ou materiais. Segundo Flores, Ornelas e Dias (2016), incêndio é todo aquele fogo que perde o controle consumindo tudo ao seu redor que não deveria ter sido consumido, podendo causar danos e risco a vidas e materiais.

Um incêndio depende da reação em cadeia de três elementos que fazem parte do “tetraedro do fogo”, comburente, combustível e calor que entram em combustão conforme é mostrado na Figura 1.

A combustão é definida como sendo uma reação química exotérmica que se processa entre um combustível e um comburente liberando luz e calor. Para que esta reação aconteça e se mantenha, são necessários quatro elementos: o combustível, o comburente, o calor e a reação em cadeia. Estes elementos são, didaticamente, simbolizados pelo tetraedro do fogo (FLORES et al, 2016, p.9).

Figura 1 - Tetraedro do fogo



Fonte: Adaptado de FLORES et al, 2016, p.9.

Compreende-se como combustível toda aquela substância química capaz de entrar em combustão e gerar queima para propagação do fogo. Pode ser encontrada nos estados líquido, sólido ou gasoso. Alguns exemplos de materiais combustíveis são madeira (sólido), GLP – gás liquefeito de petróleo (gasoso) ou álcool (líquido) (CAVAZ, 2018).

Esses materiais para gerarem a reação em cadeia precisam estar em contato com um comburente que permite a combustão dando início e força ao fogo. O comburente mais comum é o oxigênio por estar presente em toda a atmosfera terrestre, mas existem outros tipos menos conhecidos e eficazes como o cloro que não reage com todos os tipos de combustíveis (FLORES et al, 2016).

Ainda para que se realize o processo de combustão, é necessária a presença de calor para estimular a reação entre o comburente e o combustível gerando assim a chama, com função de manter e propagar o incêndio devido à energia transferida. Alguns exemplos podem ser fósforo ou isqueiro acesos (GOIÁS, 2017).

#### **4.1 Propagação do fogo**

O calor possui maneiras de se propagar de uma matéria à outra, transferindo energia e igualando a temperatura dos corpos. O fogo pode se propagar através de condução, convecção ou irradiação do calor (SILVA et al, 2014).

##### **4.1.1 Condução**

No processo de condução, o calor é transmitido do material ou espaço com temperatura maior para o de temperatura mais baixa. Esse processo pode ser mais rápido ou lento dependendo da condutividade térmica de cada material. Se o material que estiver conduzindo o fogo for bom condutor de calor, essa transferência será mais eficiente e rápida. A maioria dos materiais com boa condutividade térmica são metais, assim como o diamante, já o ar e o isopor são maus condutores de calor devido a suas moléculas adjacentes não possuírem ligações (KNIGHT, 2009).

##### **4.1.2 Convecção**

Convecção é um processo de transmissão de calor através dos movimentos dos fluidos, onde as moléculas que são aquecidas sobem devido a se expandirem e ficarem menos densas às moléculas da água de temperatura mais baixa. Esse processo é bastante eficiente e a transferência de energia ocorre de



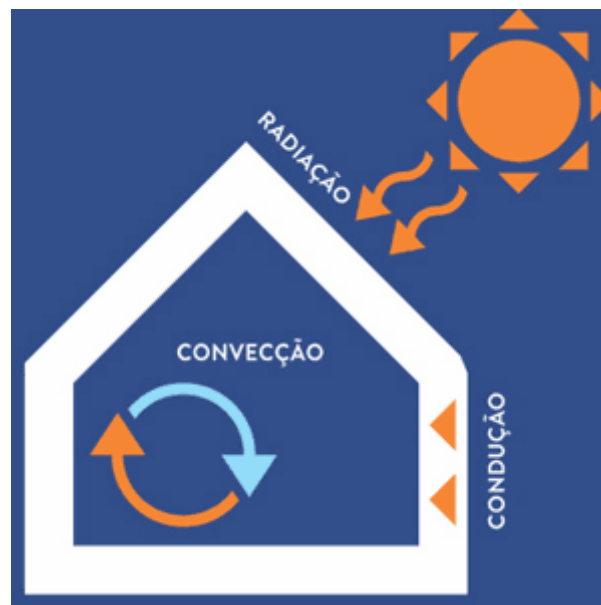
maneira rápida no ar e ainda mais na água por possuírem característica de poderem fluir (GOIÁS, 2017).

#### 4.1.3 Irradiação

Tudo emite energia em forma de radiação e transfere a outros objetos irradiando sua energia para o objeto que está absorvendo. Essa radiação é “formada por ondas eletromagnéticas geradas por cargas elétricas oscilantes nos átomos que constituem o objeto” (KNIGHT, 2009). Um exemplo de calor transferido por irradiação é o calor transferido à Terra pelo Sol, ou o calor transferido por uma lareira acesa.

A Figura 2 representa o modo de propagação do calor por condução, convecção e irradiação.

Figura 2 - Representação da propagação do calor por condução, convecção e irradiação



Fonte: 3TC Isolamento. Disponível em: <https://www.3tc.com.br/blog/3-formas-transferencia-calor/>.

Acesso em abr. 2020.

## 4.2 Incêndios no Brasil

Segundo Salvio (2018, p.8) “o Brasil está em terceiro lugar no ranking mundial de mortes por incêndio. A constatação se baseia no cruzamento de dados

do Sistema Único de Saúde (SUS) com uma pesquisa realizada pela Geneva Association”.

Esse dado é alarmante uma vez que se trata de vidas de pessoas, e pode estar relacionado a diversas causas como ineficiência de fiscalização por parte das autoridades competentes de projetos de combate e proteção a incêndio de empresas e edificações, características geográficas e demográficas das regiões metropolitanas, tráfego intenso, amplas e extensas redes de distribuição elétrica por postes e fios, construções irregulares nas favelas e cortiços muitas vezes construídos de materiais altamente abrasivos (DEL CARLO, 2008).

Quadro 2 - Linha do tempo de incêndios no Brasil

<b>Linha do Tempo de Incêndios no Brasil</b>					
<b>Locais</b>	<b>Estado</b>	<b>Ano</b>	<b>Mortes</b>	<b>Feridos</b>	<b>Causa</b>
Gran Circus Norte-Americano	RJ	1961	503	Mais de mil	Ex-funcionário ateou fogo na lona do circo
Edifício Andraus	SP	1972	16	330	Sobrecarga no sistema elétrico
Edifício Joelma	SP	1974	180	Mais de 300	Curto-circuito no sistema de refrigeração
Lojas Renner	RS	1976	41	60	Suspeita de ter iniciado com uma guimba de cigarro
Brasília Palace Hotel	DF	1978	0	0	Uma cafeteira esquecida na tomada
Edifício Grande Avenida	SP	1981	17	53	Curto-circuito na rede elétrica
Favela de Cubatão	SP	1984	93	Mais de 500	Vazamento de gasolina de uma refinaria diretamente no mangue
Edifício Andorinha	RJ	1986	21	Mais de 50	Sobrecarga de aparelhos elétricos
Creche Uruguaiana	RS	2000	12	Dezenas	Problema na instalação do aquecedor
Canecão Mineiro	MG	2001	7	Mais de 300	Queima de fogos durante um show
Boate Kiss	RS	2013	242	Dezenas	Show pirotécnico dentro da casa fechada
Creche Gente Inocente	MG	2017	13	50	O vigia ateou fogo na creche
Edifício Wilton Paes	SP	2018	7	2	Suspeita de acidente doméstico
Museu Nacional	RJ	2018	0	0	Curto-circuito devido a superaquecimento do ar condicionado
Centro de Treinamento do Flamengo	RJ	2019	10	3	Curto-circuito do ar condicionado

Fonte: As autoras, 2020.

Ocorreram grandes incêndios com vítimas fatais no Brasil. O Quadro 2 traça uma linha do tempo entre alguns desses principais incêndios que ocorreram

em edificações no período de 1961 a 2019 em diferentes regiões do país, mostrando suas vítimas e causas conhecidas.

Segundo Del Carlo (2008) a ocorrência de incêndios é mais frequente em regiões superpopulosas como as grandes cidades e capitais dos estados do Brasil. Além dos prejuízos materiais e conseqüentemente socioeconômicos de uma ocorrência de incêndio, existe a letalidade que um incêndio possui ao gerar vítimas fatais dos acidentes que podem derivar da exposição das vítimas à fumaça, à alta temperatura e as chamas. Diante disso se torna necessário um estudo e normatizações mais amplas e eficientes que tratem da segurança das pessoas que residem e ocupam prédios construídos em alvenaria estrutural nessas situações de risco.

Figura 3 - Incêndio no Museu Nacional



Fonte: BBC News Brasil. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-47177039>. Acesso em: abr. 2020.

A Figura 3 mostra o incêndio ocorrido no Museu Nacional no Rio de Janeiro em 2018 após ocorrer um curto-circuito devido a superaquecimento no ar-condicionado. O incidente não deixou feridos.

## 5 ALVENARIA ESTRUTURAL

Neste capítulo são apresentados o histórico da alvenaria estrutural e sua chegada e disseminação no Brasil, assim como suas vantagens e desvantagens. São descritos também os componentes da alvenaria estrutural: blocos, argamassa de assentamento, graute e armação.

### 5.1 Breve histórico

A alvenaria estrutural teve seu início nas edificações romanas populares onde a madeira foi substituída inicialmente por tijolos e posteriormente por alvenaria estrutural. No século XIX a técnica de alvenaria estrutural ainda não possuía ensaios e testes de resistência estrutural que comprovassem e orientassem o seu correto dimensionamento. Nessa época as construções eram feitas de forma empírica gerando assim um superdimensionamento das edificações gerando um alto custo de construção (BUSI, 2009).

Um marco que foi o precursor dessa nova tecnologia em relação aos seus métodos estruturais foi o Edifício Monadnock apresentada na Figura 4. As paredes externas possuíam grandes espessuras, 1,80m no pavimento térreo, a fim de resistir o peso próprio da edificação e aumentar a rigidez à flexão do vento segundo os critérios de construção existentes à época (MOHAMAD et al, 2017). Essa edificação recebeu reconhecimento da Comissão de Arquitetura e Urbanismo de Chicago, EUA por seu projeto ser a mais alta estrutura em alvenaria estrutural da cidade com 16 pavimentos e 65 metros de altura, apesar de ainda possuir um sistema construtivo empírico gerando altos custos e lentidão da execução.

Segundo Busi (2009) devido à alta escassez de concreto e aço que se instituiu na Segunda Guerra Mundial, o professor suíço Paul Haller conduziu estudos e testes em alvenaria que se tornaram o marco da alvenaria estrutural moderna. A partir daí o uso dessa nova tecnologia se disseminou, mas ainda era limitado. Apenas em 1950 começaram a serem criadas normatizações que forneceram critérios básicos para os dimensionamentos em alvenaria estrutural, porém ainda existiam diversos problemas como a fragilidade do material, má excentricidade e

avaliação dos efeitos de carga lateral que advinham através de ventos, sismos ou impactos ambientais.

Figura 4 - Edifício Monadnock



Fonte: Coisas da Arquitetura. Disponível em:

<https://coisasdaarquitetura.wordpress.com/2010/06/16/escola-de-chicago/>. Acesso em: nov. 2019.

Já a partir de 1960 e 1970 começaram a ser desenvolvidos cálculos e pesquisas experimentais em escala real de prédios construídos em alvenaria estrutural, o que objetivou projetos mais resistentes às cargas estáticas e às ações de ventos e abalos sísmicos, assim como de explosões e retiradas de paredes estruturais (BUSI, 2009).

Segundo Rabelo (2004) atualmente o maior prédio construído em alvenaria estrutural possui 28 pavimentos. A Figura 5 mostra o Hotel Escalibur de Las Vegas (Estados Unidos da América) construído com alvenaria estrutural armada.

Figura 5 - Hotel Escalibur de Las Vegas (EUA)



Fonte: Booking.com. Disponível em: <https://www.booking.com/hotel/us/excalibur.pt-br.html>. Acesso em: mai. 2020.

## 5.2 Alvenaria no Brasil

A alvenaria no Brasil é derivada de técnicas construtivas de Portugal em sua maioria. O tijolo começou a ser utilizado desde meados de 1930 quando era considerado material construtivo nobre e possuía características estruturais que nos anos seguintes foram se perdendo e sendo substituídas pela estrutura de concreto e aço, sendo utilizado apenas com função de vedação vertical de vãos em edifícios (MOHAMAD et al, 2017).

A partir dos anos de 1960 o Banco Nacional da Habitação (BNH) começou a investir em moradias populares e assim impulsionando a técnica construtiva de alvenaria estrutural devido à rapidez de execução e assim economia

no custo da obra uma vez que diminuem o desperdício e erros de execução. A partir de então foram desenvolvidas normas técnicas no Manual Técnico de Alvenaria (ABCI, 1990) sobre a técnica de alvenaria estrutural com blocos vazados verticalmente. A técnica começou a ser difundida no Brasil à medida que apresentava vantagens como a facilidade de execução de instalações elétricas e hidrossanitárias sem a necessidade de quebrar paredes e blocos, e começou a ganhar espaço quando parcerias entre empresas interessadas e universidades permitiram a criação de materiais e equipamentos que permitissem a produção do material no país (CORREA; CANTERLE, 2013).

### **5.3 Vantagens e desvantagens**

O método construtivo de alvenaria estrutural possui vantagens e desvantagens construtivas que irão determinar se o método será utilizado de acordo com o tipo de edificação a ser construída. A alvenaria estrutural é uma metodologia que garante maior limpeza e menor índice de perda e desperdício na obra uma vez que os blocos já vêm prontos e são menos frágeis que tijolos comuns. Essa vantagem também se dá ao fato de a execução ser mais precisa no encaixe dos blocos e não haver a possibilidade de alterações ou improvisos na obra que mudem a modulação prevista para as paredes (esse fato pode ser considerado como uma possível desvantagem da alvenaria estrutural). Devido às necessidades de precisão da execução é necessária uma mão de obra qualificada para o trabalho e isso reduz a quantidade de trabalhadores necessários no canteiro de obras (HOFFMANN et al, 2012).

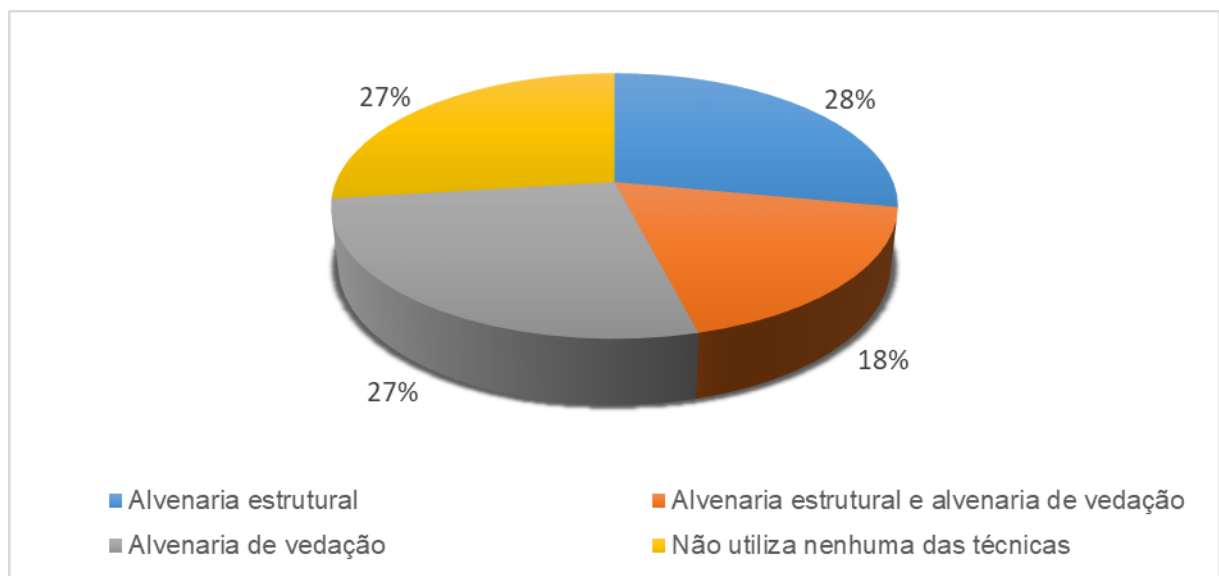
É necessário que seja feita compatibilização dos projetos complementares como instalações elétricas, instalações hidrossanitárias, SPDA (Sistemas de proteção contra descargas atmosféricas), instalações telefônicas, de televisão e interfone, entre outros projetos que necessitem da passagem de cabos dentro das paredes para que sejam dimensionados e especificados os blocos de visita que não possuem função estrutural, afim de não comprometer a estabilidade da estrutura (LINCK et al, 2011).

A função estrutural que as paredes exercem em conjunto reduz a quantidade de armadura e formas utilizadas uma vez que não existem vigas e

pilares nesse tipo de construção. Apesar de todas as vantagens que esse sistema apresenta, ele possui algumas restrições construtivas como vãos livres limitados, paredes e conjuntos muito esbeltos e não é indicado para vãos em balanço. Devido a essas restrições, é necessária uma análise sobre o uso e tipo de utilização a que será destinada a edificação antes de escolher esse sistema executivo (MOHAMAD et al, 2017).

Segundo pesquisa de campo realizada por Correa e Canterle (2013, p.11), 28% das empresas entrevistadas utilizam o método construtivo de alvenaria estrutural conforme gráfico apresentado na Figura 6.

Figura 6 - Técnicas em alvenaria que as empresas constroem



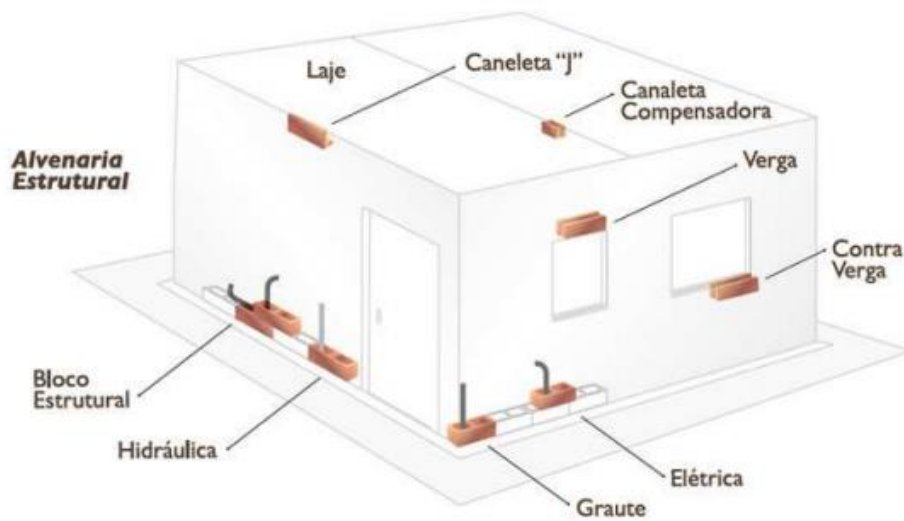
Fonte: Adaptado de Correa e Canterle, 2013.

#### 5.4 Componentes da alvenaria estrutural

Os materiais e elementos necessários para a execução de um projeto de alvenaria estrutural são: bloco, argamassa de assentamento, graute, armação, entre outros descritos na Figura 7.



Figura 7 - Elementos da alvenaria estrutural



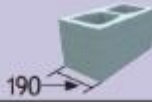












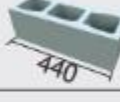







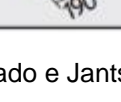


Fonte: Busi, 2009.

#### 5.4.1 Bloco

Os blocos são os elementos principais da alvenaria estrutural, pois são eles que compõem as paredes e irão resistir à maioria dos esforços solicitantes. Existem três tipos de blocos em comercialização conforme mostrado na Figura 8:

- **Bloco cerâmico**: produzido com a composição de argila, silicato de alumínio, sílica e óxidos ferrosos. Deve seguir as recomendações de dimensionamento e produção da ABNT NBR 15270-2:2017 que determina que a resistência característica à compressão deve ser a partir de 3Mpa na área bruta do bloco.
- **Bloco de concreto**: produzido pela mistura convencional de concreto (brita, areia, cimento e água) mais a adição de aditivos com finalidade de aumentar a coesão da mistura. Esse tipo de bloco deve obedecer às recomendações normativas da ABNT NBR 6136:2014.
- **Bloco sílico-calcário**: como o próprio nome já diz é constituído por sílica e calcário através de prensagem e sua cura é realizada através de vapor a alta pressão de areia quartzosa e cal. É regido pela normativa da ABNT NBR 14974-1:2003.

Figura 8 - Dimensões nominais do bloco de concreto por família

Família		20 x 40	15 x 40	15 x 30	
Medida normal (mm)	Largura (mm)				
	Altura (mm)				
	Comprimento (mm)	Inteiro (mm)			
		Meio (mm)			
		2/3 (mm)	—	—	—
		1/3 (mm)	—	—	—
		Amarração L	—		—
		Amarração T	—		
		Compensador A			—
		Compensador B			—
		Canaleta inteira			
		Meia canaleta			



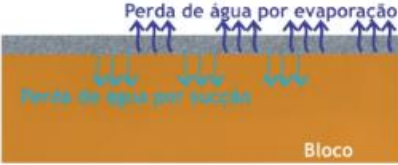
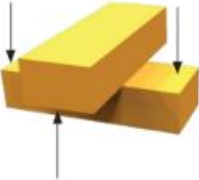


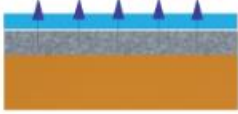
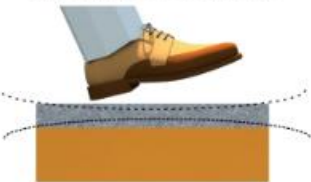
Fonte: Mohamad, Machado e Jantsch, 2017.

#### 5.4.2 Argamassa de assentamento

A argamassa de assentamento é uma massa feita da mistura de água, cimento e/ou cal e areia e/ou aditivos que tem a finalidade de consolidar toda a estrutura em uma só transmitindo as ações verticais e horizontais atuantes. A argamassa corrige possíveis irregularidades de produção dos blocos e compatibiliza as deformações entre eles, garantindo a solidez e a uniformidade necessárias à

parede (BUSI, 2009). A Figura 9 mostra os requisitos para a argamassa nos estados fresco e endurecido.

Figura 9 - Requisitos para argamassa nos estados fresco e endurecido

Estado fresco	Estado endurecido
<p>Consistência</p> 	<p>Resistência à compressão</p> 
<p>Retenção de água</p> 	<p>Aderência superficial</p> 
<p>Coesão da mistura</p> 	<p>Durabilidade</p> 
<p>Exsudação</p> 	<p>Capacidade de acomodar deformações sem fissurar</p> 

Fonte: Mohamad, Machado e Jantsch, 2017.

#### 5.4.3 Graute

Graute é uma mistura de concreto ou argamassa fluidos para preencher os vazios do bloco onde for utilizado junto a uma armação vertical com finalidade de aumentar a resistência da parede à compressão, atuar como reforço estrutural em zonas de maiores tensões e solidificar as armaduras com a alvenaria. A mistura é composta de areia, cimento, água, cal e agregado graúdo passante na peneira

12,5mm, e depois lançado na alvenaria conforme mostrado na Figura 10 (IZQUIERDO, 2015).

O graute deve apresentar consistência, retração e resistência à compressão segundo a norma BS 5628-1:2005 que foi cancelada e substituída pela EN 1996:2005. A mistura deve ser coesa e fluida e deve preencher totalmente todos os furos da alvenaria não tendo separação entre o graute e o bloco.

Figura 10 - Lançamento de graute na alvenaria

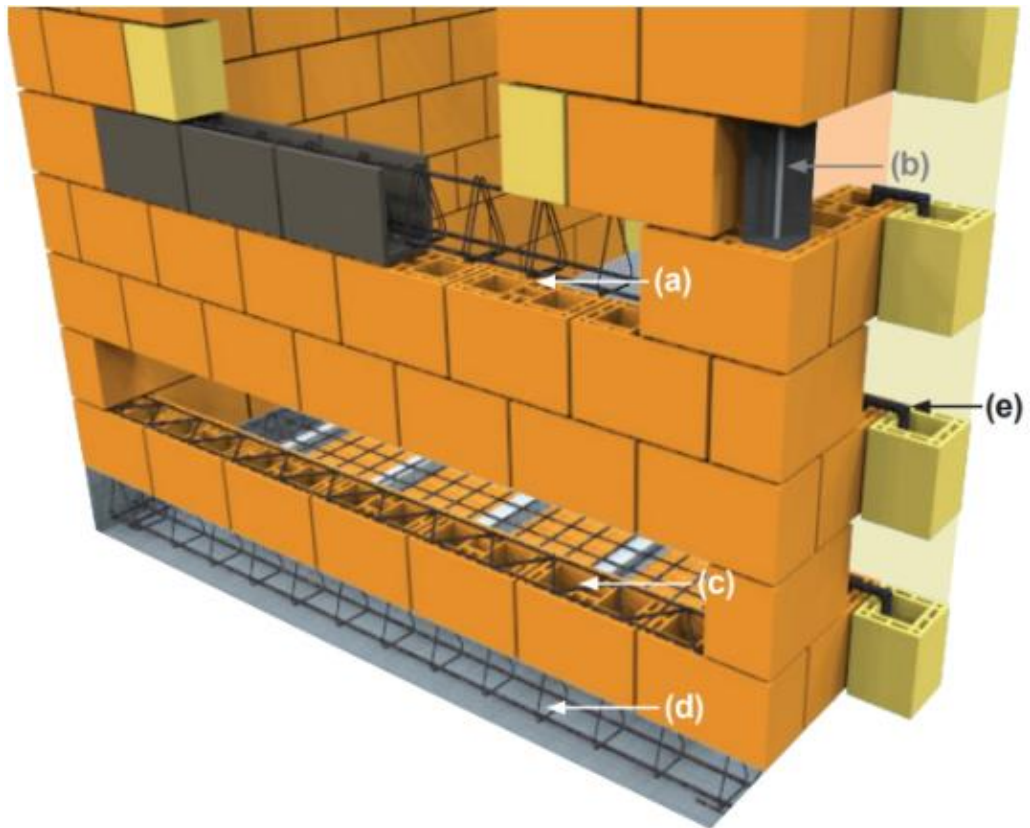


Fonte: Mohamad, Machado e Jantsch, 2017.

#### 5.4.4 Armação

A alvenaria estrutural com blocos de concreto é eficiente à compressão, mas precisa de reforço para resistir a esforços de tração e cisalhamento. Para isso é necessária a utilização de armaduras longitudinais e transversais que servirão também para conectar os elementos estruturais evitando fissuras. As armaduras são necessárias nos blocos canaleta que devem ser locados abaixo e acima de aberturas (janelas, portas e vãos) servindo como vergas e contravergas para controlar expansão e fissuração por retração. Alguns exemplos de armaduras na alvenaria são representados na Figura 11 (BUSI, 2009).

Figura 11 - Exemplos de armaduras na alvenaria



Exemplos de armadura na alvenaria: (a) treliça na contra verga; (b) barra vertical; (c) treliças planas; (d) armadura da cinta de amarração; (e) grampos.

Fonte: Mohamad et al, 2017.

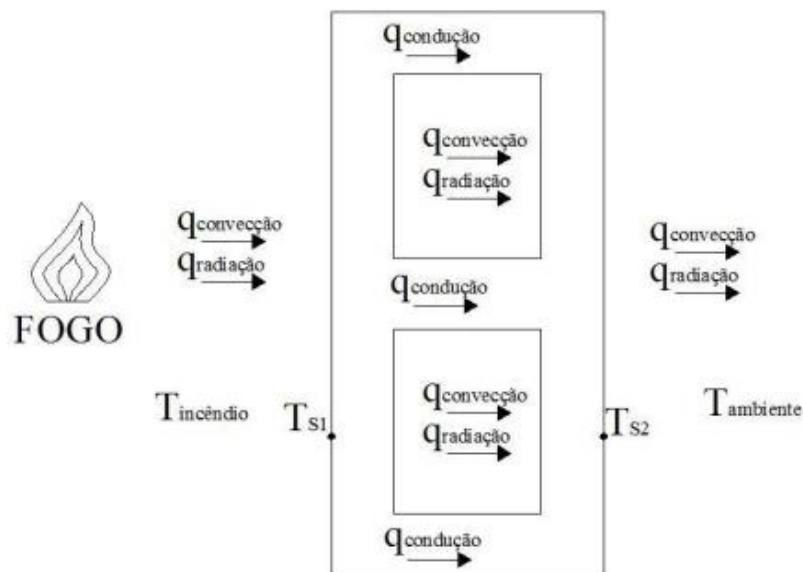
## 6 COMPORTAMENTO DA ALVENARIA ESTRUTURAL AO INCÊNDIO

Para entendimento do comportamento da alvenaria estrutural em situação de elevada temperatura, é necessário avaliar os seus componentes – blocos, argamassa de assentamento, graute, armação e revestimento – de maneira individual e como um todo na estrutura (LEITE, 2018).

Nacionalmente, ainda se caminha a passos lentos na avaliação do comportamento da alvenaria estrutural em situação de incêndio. Pouco se conhece, no país, sobre as propriedades térmicas e mecânicas, sob temperaturas elevadas, dos materiais componentes da alvenaria estrutural. Da mesma forma, quando se avalia resultados existentes sobre o comportamento de paredes de alvenaria em situação de incêndio, pode-se notar a insignificância numérica de resultados nacionais, principalmente de paredes avaliadas sob carga (LEITE, 2018, p. 21).

Uma parede de alvenaria numa situação de incêndio fará transferência de calor do lado da parede em contato com o fogo ao lado oposto através do aquecimento do material. Porém, o bloco estrutural não é maciço então essa transferência de calor ocorre de maneira distinta em cada componente da alvenaria estrutural. Segundo Rosemann (2011) as partes maciças dos blocos, sofrem transferência de calor através de condução e as partes vazadas, através de convecção e radiação segundo representação esquemática na Figura 12.

Figura 12 - Esquema de transferência de calor em uma parede submetida a incêndio

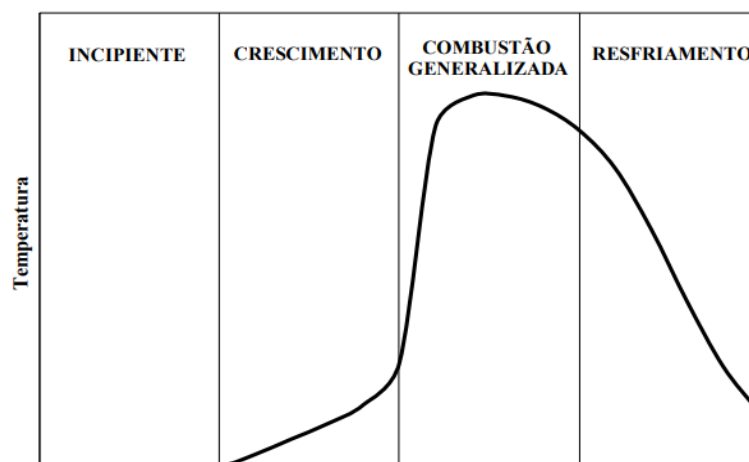


Fonte: Rosemann (2011).

O desenvolvimento do fogo e sua propagação dependem de alguns fatores como a quantidade de material combustível existente no ambiente, condições climáticas, forma e dimensões da estrutura e das medidas de proteção contra incêndio que foram adotadas na edificação seja ela de qualquer tipo estrutural. Rosemann (2011) definiu quatro fases em que o incêndio pode se apresentar ao se desenvolver em um incêndio: incipiente, crescimento, combustão generalizada e resfriamento em que respeitam a uma curva de temperatura-tempo apresentada na Figura 13. Na fase incipiente, o fogo aquece de maneira lenta os materiais que são combustíveis e pode durar de 5 a 20 minutos até a combustão do fogo. Após essa etapa se inicia a fase de crescimento da chama, onde elas se propagam de maneira mais rápida através de convecção, irradiação ou condução a outros materiais próximos e principalmente para cobertura uma vez que a chama e o calor tendem a subir.

Ainda segundo Rosemann (2011), a transição dessa fase à de combustão generalizada, também conhecida como *flash over*, ocorre quando a temperatura atinge cerca de 600 °C e a combustão dos materiais ocorre de forma acelerada e atinge a estrutura da edificação. Nessa etapa a temperatura pode chegar a 1100°C. A fase de resfriamento do incêndio pode ocorrer de duas maneiras, ao se esgotar todo o combustível após ser queimado ou com ações de combate ao fogo através de abafamento ou resfriamento. Nessa fase a temperatura do ambiente vai reduzindo gradualmente assim como as chamas até cessarem completamente e se dar o fim do incêndio.

Figura 13 - Curva típica do processo de desenvolvimento de um incêndio



Fonte: Roseman, 2011.

A parede de alvenaria deve possuir Resistência ao Fogo<sup>2</sup> que compreende na sua capacidade de adequação estrutural (habilidade de manter sua capacidade estrutural e continuar desempenhando seu papel estrutural na edificação), estanqueidade (capacidade de prevenir a passagem da chama e dos gases quentes através de trincas e fissuras que podem vir a aparecer durante o incêndio mantendo-se contínua) e isolamento térmico (critério determinante de resistência ao fogo que consiste em manter o fogo sem transpassar ao lado oposto da parede a fim de garantir a segurança dos ocupantes e tempo necessário para fuga, fazendo com que a parede se caracterize de compartimentação). Esses critérios de desempenho da alvenaria durante uma situação de incêndio dependem das características dos materiais empregados na construção, tais como porosidade, condutibilidade térmica, peso próprio, junta de assentamento, entre outros (LEITE et al, 2015).

A maioria dos materiais sofre alterações em suas propriedades ao serem aquecidas, alterando sua microestrutura que causa alterações no comportamento do material na estrutura. De acordo com Rigão, 2012, o concreto por ser um material heterogêneo depende do agregado utilizado na mistura para conhecer seu comportamento frente ao fogo.

Concretos de resistências convencionais são porosos suficientes para permitir a migração da água livre do seu interior quando aquecidos sem haver lascamentos significativos. Já concretos de alto desempenho (CAD) possuem resistências mais elevadas e porosidade bastante reduzida, dificultando a saída de água pela rede de canálculos. Esse comportamento gera grandes pressões internas, favorecendo lascamentos explosivos nesse tipo de concreto (RIGÃO, 2012, p. 55).

Agregados leves na composição do bloco de concreto oferecem baixa condutividade de calor devido ao ar confinado existente em materiais como argila expandida ou xisto, fazendo com que apresentem o mesmo desempenho que blocos com agregados mais pesados, porém com espessuras menores. A Tabela 1 lista a espessura em centímetros necessária do bloco de concreto para resistir a 30 a 135 minutos ao fogo de acordo com o tipo de agregado empregado na pasta.

---

<sup>2</sup> Propriedade de um elemento construtivo de se opor ao avanço do fogo ou se proteger dele.



Tabela 1 - Espessura mínima para paredes de alvenaria com blocos de concreto

Tipo de agregado	Período de resistência ao fogo (minutos)							
	30	45	60	75	90	105	120	135
Pedra pomes ou escória expandida	3,81	4,83	5,33	6,35	6,86	7,62	8,13	8,64
Xisto expandido, argila ou ardósia	4,57	5,59	6,60	7,37	8,38	8,64	9,14	9,65
Calcário, cinzas ou escória não expandida	4,83	5,84	6,86	7,87	8,64	9,40	10,16	10,92
Cascalhos calcáreos	5,08	6,10	7,11	8,13	9,14	9,91	10,67	11,43
Cascalhos silicosos	5,33	6,60	7,62	8,89	9,91	10,67	11,43	12,19
Tipo de agregado	Período de resistência ao fogo (minutos)							
	150	165	180	195	210	225	240	
Pedra pomes ou escória expandida	9,14	9,65	10,16	10,67	11,18	11,43	11,94	
Xisto expandido, argila ou ardósia	10,16	10,67	11,18	11,68	12,19	12,45	12,95	
Calcário, cinzas ou escória não expandida	11,43	12,19	12,70	13,21	13,97	14,48	14,99	
Cascalhos calcáreos	12,19	12,70	13,46	13,97	14,73	15,24	15,75	
Cascalhos silicosos	12,95	13,72	14,48	15,24	15,75	16,51	17,02	

Fonte: Standard Building Code (1991 apud RIGÃO, 2012).

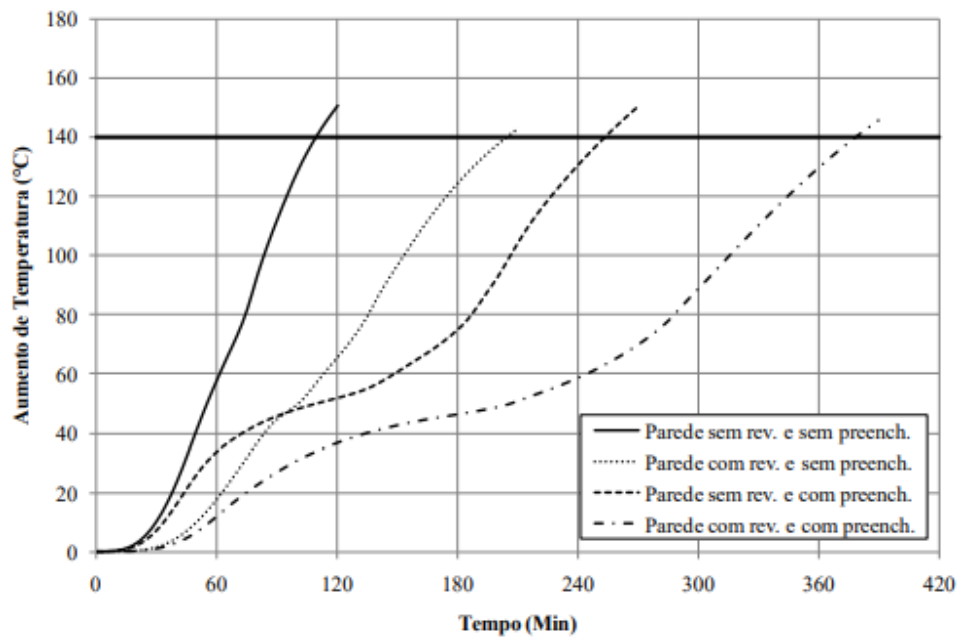
Ainda segundo Rigão (2012), a condutividade térmica dos blocos cerâmicos depende da sua densidade, sendo os de densidade mais elevada que apresentam maiores valores de condutividade térmica.

Rosemann (2011) realizou ensaios de resistência quanto ao isolamento térmico de paredes não carregadas de alvenaria estrutural com blocos cerâmicos. Os ensaios consistiram em verificar o tempo de resistência ao fogo em paredes sem revestimento, com revestimento de argamassa, com vazios nos blocos e com os vazios preenchidos com areia a uma temperatura de 140°C. Os resultados dos ensaios apresentaram uma capacidade de resistência ao fogo de 106 minutos para paredes sem revestimento e sem preenchimento. Ao se incluir revestimento de argamassa, foi constatado que houve um aumento de 80% na resistência e ao preencher os vazios dos blocos com areia obteve-se um acréscimo de 100% no tempo conforme mostra a Figura 14.

Dessa forma uma alternativa eficiente e relativamente econômica para se aumentar a resistência ao fogo das paredes de alvenaria cerâmica estrutural é

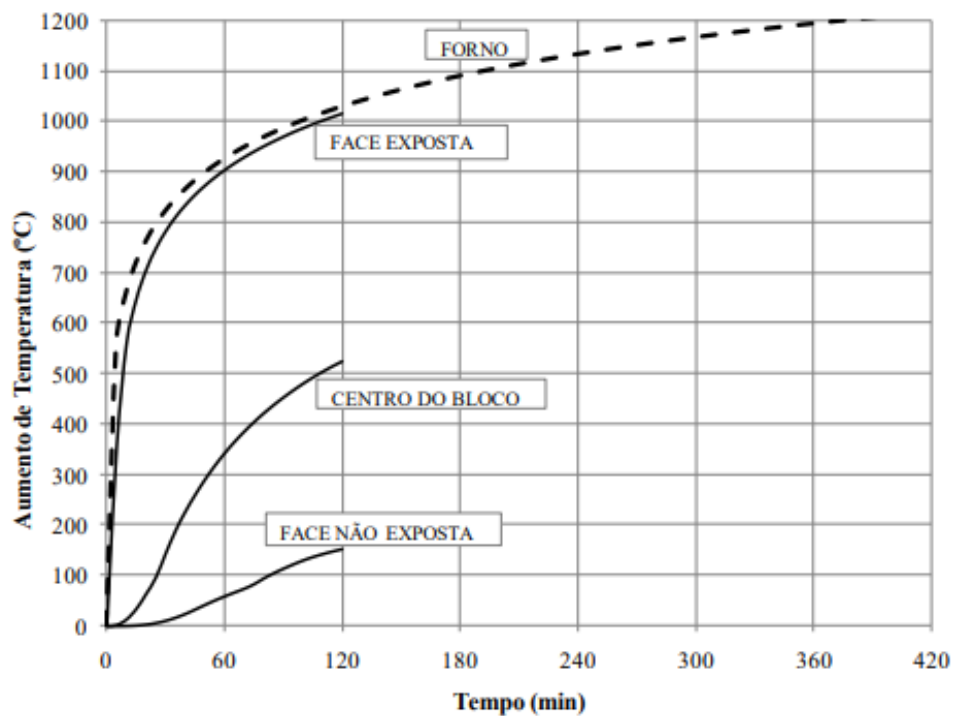
incrementar a estrutura com revestimento nas faces e preenchimento dos vazios dos blocos com areia. Rigão (2012) também afirma ao aumentar a espessura dos blocos ou preencher seus vazios, obtêm-se um aumento na resistência ao fogo.

Figura 14 - Temperatura na face não exposta do bloco



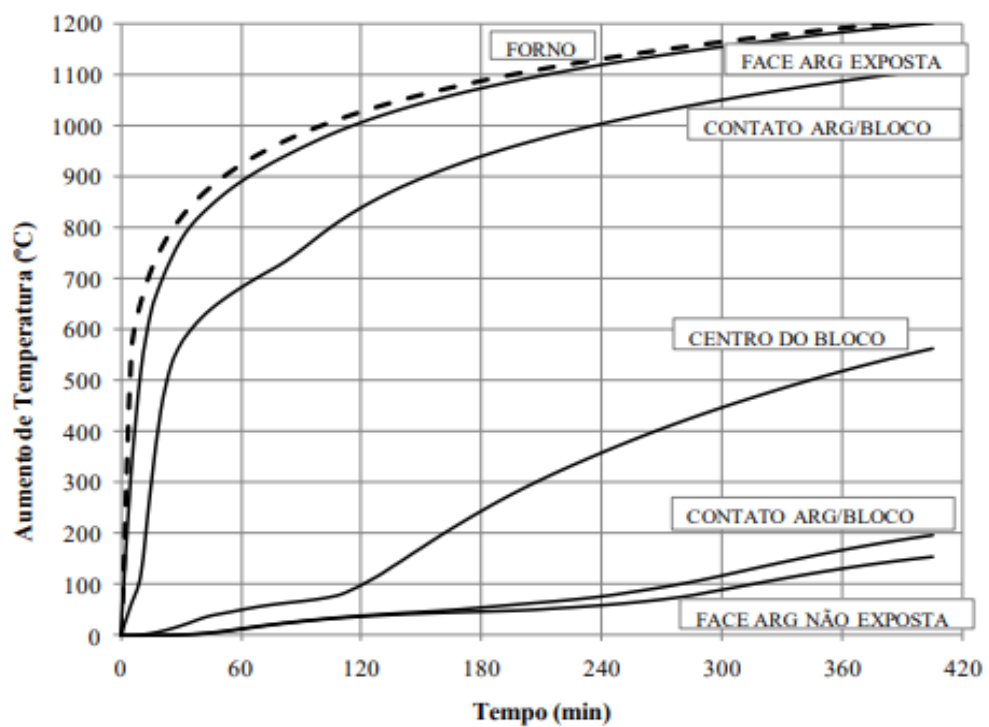
Fonte: Rosemann, 2011.

Figura 15 - Aumento da temperatura ao longo da linha média do bloco sem revestimento e sem preenchimento



Fonte: Rosemann, 2011.

Figura 16 - Aumento da temperatura ao longo da linha média do bloco com revestimento e com preenchimento



Fonte: Rosemann, 2011.

As Figuras 15 e 16 ilustram a diferença da relação tempo x temperatura na linha média do bloco quando está sem revestimento e sem preenchimento dos vazios e quando está com revestimento de argamassa e preenchimento dos vazios com areia segundo os ensaios realizados por Rosemann (2011).

Já Rigão (2012) realizou ensaio em pequenas paredes de alvenaria estrutural com blocos cerâmicos carregados com 70KN através de um macaco hidráulico, ressaltando que a curva de aquecimento não seguiu a curva de incêndio-padrão. Os resultados mostraram que as argamassas são completamente deterioradas a temperaturas de 900°C, e com relação às paredes houve um aumento de carga ao longo do aquecimento, uma vez que foi imposta uma restrição ao deslocamento vertical e devido ao gradiente térmico.

Segundo Nadjai et al (2006), o gradiente térmico na espessura da parede ocorre devido à incidência do fogo ser em apenas um dos lados do bloco, onde a dilatação térmica nesse lado aquecido será maior, o que causa um encurvamento da parede em direção ao fogo aumentando a excentricidade das cargas, gerando momentos de segunda ordem que aumentam o carregamento sobre a parede. Esse crescimento das solicitações pode resultar no colapso da estrutura.

Ingham (2009) afirma que as paredes de alvenaria sob temperaturas de 250 a 300°C sofrem danos restritos às mudanças de cor dos componentes, mas que ao elevar a temperatura passam a sofrer deterioração dos materiais como argamassa, reduzindo seriamente sua resistência à compressão a temperaturas de 600 a 800°C. O autor alerta sobre os perigos de se resfriar a parede de alvenaria estrutural de maneira rápida causando um choque térmico na estrutura superaquecida que pode vir a ocasionar diversas fissuras abertas, podendo trazer a estrutura ao colapso.

## 7 NORMATIVAS BRASILEIRAS DE ESTRUTURAS

Para análise do dimensionamento de estruturas para prevenção e contenção de incêndio e pânico, se faz necessário um entendimento de normativas e instruções que orientam e estabelecem critérios a fim de promover a segurança das edificações e seus ocupantes nessas situações.

### 7.1 Norma Desempenho – NBR 15575

Uma norma que em qualquer circunstância deve ser analisada e respeitada ao começar a construir é a ABNT NBR 15575:2013 – Norma de Desempenho de Edificações Habitacionais que tem o propósito de orientar e estabelecer critérios que devem ser respeitados pelas construtoras para garantir alta qualidade dos imóveis. Segundo Cordovil (2013, p.6), essa norma possui foco “na capacidade de resistir às intempéries e situações do cotidiano de uso e operação, assim como garantir o conforto para o usuário”.

A ABNT NBR 15575:2013 possui 6 partes sendo:

- Parte 1: Requisitos Gerais
- Parte 2: Sistemas estruturais
- Parte 3: Sistemas de pisos
- Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas
- Parte 5: Sistemas de cobertura
- Parte 6: Sistemas hidrossanitários

A parte 1 trata dos requisitos gerais de desempenho e no item 7.1.11 cita os requisitos relativos à segurança contra incêndio de edificações que são pautados em proteger a vida dos ocupantes e áreas de risco, proporcionar meios de controle e extinção de incêndio e dar condições de acesso para as operações do corpo de bombeiros (BRASIL, 2013).

Além disso, a norma cita alguns requisitos mínimos de segurança que devem ser adotados a fim de dificultar o princípio e propagação do fogo, onde os projetos devem seguir as premissas de proteção contra riscos de vazamentos em instalações de gás, ignição em instalações elétricas e contra descargas atmosféricas além de prever que devem ser respeitados os critérios exigidos na ABNT NBR

14432:2001 (Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações) para diminuir os riscos de se iniciar um incêndio. Deve também ser atendida a ABNT NBR 9077:2001 (Saída de emergência em edifícios) com intuito de orientar sobre a facilitação da fuga dos ocupantes das edificações em situações de incêndio e pânico (BRASIL, 2013).

Segundo Cordovil (2013) a partir do momento que se instala um incêndio é necessária a preocupação em dificultar que o fogo se propague e se alastre de forma rápida, através de isolamento de risco à distância, que consiste em manter uma distância mínima entre edificações vizinhas; por proteção, onde são adotados elementos que cortem o fogo como portas corta-fogo, escadas enclausuradas, entre outros; e garantindo estanqueidade e isolamento da edificação para que a propagação do fogo seja minimizada.

Para isso devem ser atendidas as determinações da parte 3 a parte 5 desta norma que determinam os critérios dos materiais de construção. É fundamental também o cuidado para que em um caso de incêndio a estrutura não entre em colapso, ou que esse risco seja minimizado. Para isso a norma orienta que sejam respeitadas as determinações da ABNT NBR 14323:2013 (Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio) e da ABNT NBR 15200:2012 (Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio). Para as demais estruturas, a norma desempenho recomenda que seja aplicado o *Eurocode* correspondente (CORDOVIL, 2013).

## **7.2 Normas nacionais de segurança em situações de incêndio**

Atualmente existem algumas normativas brasileiras que tratam do dimensionamento de estruturas em situações de incêndio. Destacam-se as que se seguem.

### **7.2.1 NBR 14323: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas aço-concreto de edifícios em situação de incêndio**

A norma ABNT NBR 14323:2013 trata do projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio, com

objetivo de dimensionar essas estruturas para que resistam aos esforços solicitantes em temperatura elevada sem colapsar a estrutura antes do tempo de fuga dos usuários da edificação e sem prejudicar a aproximação de pessoas e equipamentos de combate ao incêndio (BRASIL, 2013).

Esta norma tem por base o método dos estados limites que consiste em utilizar para os cálculos estruturais o estado limite último e o estado limite de serviço. O estado limite último se configura onde há um carregamento acima do qual a estrutura resiste e não pode mais ser utilizada sendo considerada insegura. Já o estado limite de serviço ocorre quando também ultrapassa o limite de carregamento e a estrutura não pode mais ser utilizada, mas nesse caso não é considerada insegura (ATAÍDE; CORRÊA, 2006).

Propriedades dos materiais:

- Aço

A norma se aplica ao aço estrutural utilizado em obras de construção civil permitido pela ABNT NBR 8800:2008 e ABNT NBR 14762:2010. Para fins desta norma os aços são perfis laminados ou trefilados utilizados em estruturas metálicas.

- Concreto

As propriedades do concreto descritas na norma são aplicadas a concreto estrutural normalmente utilizado na construção civil com densidade normal prevista pela ABNT NBR 6118:2014 Projeto de estruturas de concreto sendo concreto simples, armado ou protendido.

A Tabela 2 fornece os fatores de redução para resistência característica à compressão de densidade normal e baixa densidade, para o módulo de elasticidade secante inicial no limite de resistência à compressão do concreto de densidade normal e baixa densidade e a deformação do concreto de densidade normal, relativos aos valores a 20°C.

A variação dos fatores de redução para resistência característica à compressão de densidade normal e baixa densidade, para o módulo de elasticidade secante inicial no limite de resistência à compressão do concreto de densidade normal e baixa densidade e a deformação do concreto de densidade normal, com relação à temperatura é mostrada na Figura 17.

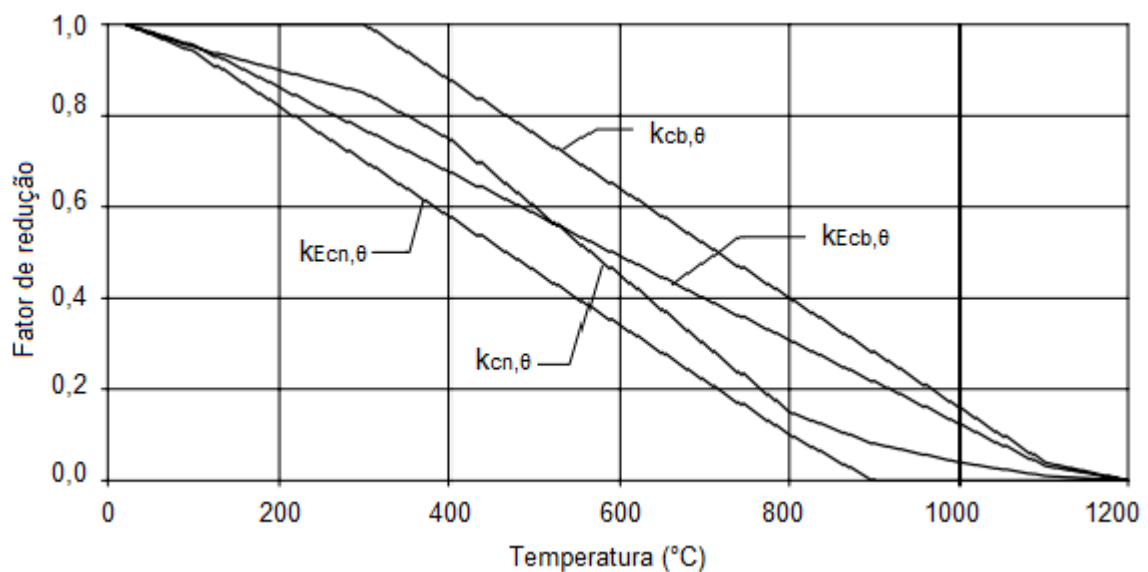
Tabela 2 - Fatores de redução para o concreto

Fator de redução do concreto					
Temperatura do concreto	Fator de redução para a resistência característica à compressão do concreto de densidade normal	Fator de redução para a resistência característica à compressão do concreto de baixa densidade	Fator de redução para o módulo de elasticidade do concreto de densidade normal	Fator de redução para o módulo de elasticidade do concreto de baixa densidade	Deformação do concreto de densidade normal correspondente a $f_{ckn,\theta}$
$\theta_{cr}$					
(°C)	$k_{cn,\theta}$	$k_{cb,\theta}$	$k_{Ecn,\theta}$	$k_{Ecb,\theta}$	$\epsilon_{cun,\theta} \times 10^3$
20	1,000	1,000	1,000	1,000	2,5
100	0,950	1,000	0,940	0,954	3,5
200	0,900	1,000	0,820	0,862	4,5
300	0,850	1,000	0,700	0,769	6,0
400	0,750	0,880	0,580	0,678	7,5
500	0,600	0,760	0,460	0,585	9,5
600	0,450	0,640	0,340	0,492	12,5
700	0,300	0,520	0,220	0,400	14,0
800	0,150	0,400	0,100	0,308	14,5
900	0,080	0,280	0,000	0,216	15,0
1000	0,040	0,160	0,000	0,124	15,0
1100	0,010	0,040	0,000	0,032	15,0
1200	0,000	0,000	0,000	0,000	15,0

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

Fonte: Brasil, 2013.

Figura 17 - Variação dos fatores de redução do concreto com a temperatura



Fonte: Brasil, 2013.



Propriedades térmicas e massa específica do concreto:

- Massa específica:  $\rho_{cn} = 2400 \text{ kg/m}^3$  (concreto de densidade normal)
- Massa específica:  $\rho_{cb} = \text{entre } 1600 \text{ e } 2000 \text{ kg/m}^3$  (concreto de baixa densidade)
- Variações de alongamento:  $\Delta l_{cn} / l_{cn} = 18 \times 10^{-6} (\theta_c - 20)$
- Calor específico:  $c_{cn} = 1000 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$
- Condutividade térmica:  $\lambda_{cn} = 1,6 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

A ABNT NBR 14323:2013 prevê que o dimensionamento da estrutura feita de aço ou concreto deve ser feito através de ensaios de laboratório ou por método analítico de cálculo que pode ser simplificado ou avançado. Para determinação do tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) é necessária a utilização da norma ABNT NBR 14432:2001 Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos em conjunto com a ABNT NBR 5628:2001 Componentes construtivos estruturais – Determinação da resistência ao fogo, que prevê um TRRF máximo de 120 minutos.

#### 7.2.2 NBR 14432: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos

O objetivo da ABNT NBR 14432:2001 é garantir que não haja colapso estrutural entre os elementos estruturais e de compartimentação que constituem a edificação. Os elementos de compartimentação<sup>3</sup> devem atender a requisitos de isolamento térmico e estanqueidade por tempo suficiente para que os ocupantes da edificação consigam fugir em segurança, para que haja segurança nas operações de combate ao incêndio e para minimizar os danos a edificações e infraestrutura públicas próximas (BRASIL, 2001).

Esta norma isenta alguns tipos de edificações dos grupos aqui estudados (A-1 e A-2) aos requisitos de resistência ao fogo, são elas:

- Edificações com área total menor ou igual a  $750\text{m}^2$ ;
- Edificações com até dois pavimentos e área total menor ou igual a  $1500\text{m}^2$  e carga de incêndio específica menor ou igual a  $1000\text{MJ/m}^2$ ;
- Edificações térreas das divisões A-1 e A-2, exceto quando:

<sup>3</sup> Medida de proteção passiva feita através de vedação fixa ou móvel a fim de evitar a propagação do fogo, calor e gases a áreas adjacentes.

- A cobertura tiver função de piso;
- A estrutura for essencial à estabilidade de algum elemento de compartimentação.

A norma determina o tempo máximo de TRRF de acordo com o uso e altura do pavimento, conforme mostra o Quadro 3.

Quadro 3 - TRRF de elementos construtivos

Situação	TRRF exigido
Vigas que não pertençam ao sistema estrutural de edificações com altura máxima de 45m	60 min
Vigas que não pertençam ao sistema estrutural de edificações com altura superior a 45m	90 min
Lajes de edificações com altura máxima de 45m	90 min
Subsolo	Igual ao dos pavimentos superiores
Nota: Todas as edificações abrangidas por esta Norma devem possuir saídas de emergência	

Fonte: Brasil, 2001.

Quadro 4 - Carga de incêndio grupos A-1 e A-2

Ocupação / Uso	Descrição	Divisão	Carga de incêndio (MJ/m <sup>2</sup> )
Residencial	Alojamentos estudantis	A-1	300
	Casas térreas ou sobrados	A-1	300
	Apartamentos	A-2	300

Fonte: Brasil, 2001.

Para fins deste estudo apenas serão consideradas as divisões A-1 e A-2 de uso e ocupação residencial. Ambos apresentam carga de incêndio de 300 MJ/m<sup>2</sup> segundo o Quadro 4.

### 7.2.3 NBR 15200: Projetos de estruturas em concreto em situação de incêndio

As propriedades do concreto descritas na norma são aplicadas a concreto estrutural normalmente utilizado na construção civil com densidade normal prevista pela ABNT NBR 6118:2014 Projeto de estruturas de concreto sendo concreto simples, armado ou protendido e pela ABNT NBR 9062:2017 Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. A elaboração da norma teve como referência a

*Eurocode 2:2005*, adaptando suas recomendações à realidade brasileira (BRASIL, 2012).

O dimensionamento previsto pela norma é baseado no comportamento dos materiais e da estrutura em situação normal à temperatura ambiente próxima de 20°C, com o que ocorre em situação de incêndio. Os objetivos gerais em situação de incêndio são limitar os riscos à vida humana, à vizinhança e à estrutura que está exposta ao fogo. A estrutura deve manter duas funções básicas: corta-fogo (apresentar isolamento térmico e estanqueidade para não permitir que o fogo ultrapasse para outros andares ou cômodos) e suporte (manter a capacidade estrutural sem entrar em colapso). Para que esses requisitos sejam atendidos é necessário reduzir o risco de incêndio, controlar o fogo em seus estágios iniciais, limitar a área exposta ao fogo, criar rotas de fuga, facilitar a chegada e operação de combate a incêndio e evitar a ruína prematura da estrutura antes da fuga dos ocupantes em segurança (BRASIL, 2012). Para um dimensionamento mais rigoroso que favoreça a proteção e combate a incêndio em edificações, a norma recomenda a utilização da ABNT NBR 14432:2001.

É necessário compreender o comportamento dos materiais que compõem estruturas de concreto e concreto armado em situação de incêndio. Para isso a norma fornece valores da relação entre a resistência à compressão do concreto submetido a diferentes temperaturas ( $f_{c,\theta}$ ), resistência característica à compressão do concreto em situação normal ( $f_{ck}$ ), e da relação entre o módulo de elasticidade do concreto submetido a diferentes temperaturas ( $E_{c,\theta}$ ) e em situação normal ( $E_c$ ), como mostra a Tabela 3 de concretos de massa específica normal (2000 kg/m<sup>3</sup> a 2800 kg/m<sup>3</sup>) com predominância de agregados silicosos e calcários.

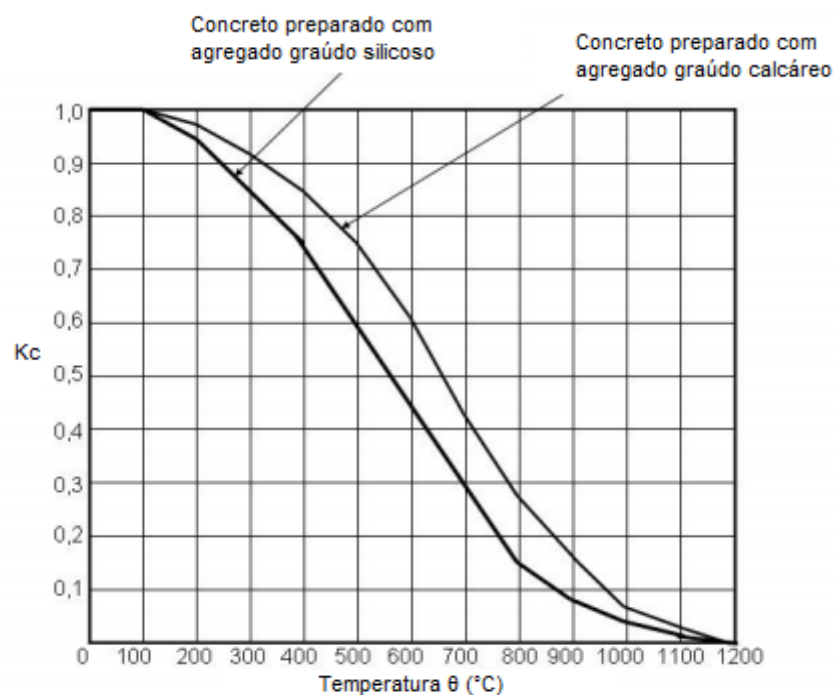
Tabela 3 - Valores das relações  $f_{c,\theta}/f_{ck}$  e  $E_{c,\theta}/E_c$  para concretos predominantemente silicosos e calcários

Temperatura do concreto, $\theta$ °C	Agregado silicoso		Agregado calcáreo	
	$f_{c,\theta}/f_{ck}$	$E_{c,\theta}/E_c$	$f_{c,\theta}/f_{ck}$	$E_{c,\theta}/E_c$
1	2	3	4	5
20	1,00	1,00	1,00	1,00
100	1,00	1,00	1,00	1,00
200	0,95	0,90	0,97	0,94
300	0,85	0,72	0,91	0,83
400	0,75	0,56	0,85	0,72
500	0,60	0,36	0,74	0,55
600	0,45	0,20	0,60	0,36
700	0,30	0,09	0,43	0,19
800	0,15	0,02	0,27	0,07
900	0,08	0,01	0,15	0,02
1000	0,04	0,00	0,06	0,00
1100	0,01	0,00	0,02	0,00
1200	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: ABNT (2012).

A resistência à compressão do concreto decresce de acordo com que a temperatura vai se elevando segundo a curva estimada pela norma apresentada na Figura 18.

Figura 18 - Fator de redução da resistência do concreto à compressão



Fonte: Brasil, 2012.

O concreto produzido pela pasta de cimento Portland ao ser aquecido dá início ao processo de evaporação da água capilar presente na mistura. Após a completa evaporação dessa água, o concreto atinge a temperatura de 100°C onde começa a evaporação da água absorvida e da água quimicamente combinada. A partir daí, começa a desidratação dos silicatos de cálcio que são os responsáveis pela maior parte da resistência do concreto. Esses silicatos ao atingirem a temperatura de 710°C são completamente extintos. Aos 1060°C se dá o início do derretimento de alguns constituintes (ANDRADE; GODINHO, 2014).

O aço aqui compreendido é dividido no aço de armadura passiva e aço de armadura ativa. A Tabela 4 informa a relação entre a resistência ao escoamento do aço da armadura passiva submetido a diferentes temperaturas ( $f_{y,\theta}$ ) e a resistência característica ao escoamento em situação normal ( $f_{yk}$ ), e a relação entre o módulo de elasticidade do aço submetido a diferentes temperaturas ( $E_{s,\theta}$ ) e em situação normal ( $E_s$ ).

Tabela 4 - Valores das relações  $f_{y,\theta}/f_{yk}$  e  $E_{s,\theta}/E_s$  para aços de armadura passiva

Temperatura do aço, $\theta$ °C	$f_{y,\theta}/f_{yk}$			$E_{s,\theta}/E_s$	
	Tração		Compressão	CA50	CA60
	CA50	CA60	CA50 e CA60		
20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
100	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
200	1,00	1,00	0,89	0,90	0,87
300	1,00	1,00	0,78	0,80	0,72
400	1,00	0,94	0,67	0,70	0,56
500	0,78	0,67	0,56	0,60	0,40
600	0,47	0,40	0,33	0,31	0,24
700	0,23	0,12	0,10	0,13	0,08
800	0,11	0,11	0,08	0,09	0,06
900	0,06	0,08	0,06	0,07	0,05
1000	0,04	0,05	0,04	0,04	0,03
1100	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02
1200	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Brasil, 2012.

A Tabela 5 informa a relação entre a resistência ao escoamento do aço de fios e cordoalhas da armadura ativa submetido a diferentes temperaturas ( $f_{py,\theta}$ ) e a resistência característica ao escoamento em situação normal ( $f_{pyk}$ ), e a relação

entre o módulo de elasticidade do aço submetido a diferentes temperaturas ( $E_{ps,\theta}$ ) e em situação normal ( $E_{ps}$ ).

Tabela 5 - Valores das relações  $f_{py,\theta}/f_{pyk}$  e  $E_{ps,\theta}/E_{ps}$  para barras de armadura ativa

Temperatura do aço, $\theta$ °C	$f_{py,\theta}/f_{pyk}$		$E_{ps,\theta}/E_{ps}$	
	Fios e cordoalhas	Barras	Fios e cordoalhas	Barras
20	1,00	1,00	1,00	1,00
100	0,99	0,98	0,98	0,76
200	0,87	0,92	0,95	0,61
300	0,72	0,86	0,88	0,52
400	0,46	0,69	0,81	0,41
500	0,22	0,26	0,54	0,20
600	0,10	0,21	0,41	0,15
700	0,08	0,15	0,10	0,10
800	0,05	0,09	0,07	0,06
900	0,03	0,04	0,03	0,03
1000	0,00	0,00	0,00	0,00
1100	0,00	0,00	0,00	0,00
1200	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Brasil, 2012.

O método utilizado pela NBR 15200 para o dimensionamento de lajes, pilares e vigas em função do TRRF é o método tabular que utiliza da simples aplicação de dimensões mínimas tabeladas para os elementos construtivos para garantir sua função corta-fogo. As dimensões de lajes são apresentadas na Tabela 6 divididas em lajes apoiadas em vigas, lisas e cogumelos, nervuradas biapoiadas e nervuradas apoiadas em três ou quatro lados ou contínuas.

Tabela 6 - Dimensões mínimas de lajes

Dimensões mínimas (h) para lajes apoiadas em vigas				
TRRF mín	h mm	C1 mm		
		Armada em duas direções		Armada em uma direção
		$l_y / l_x \leq 1,5$	$1,5 < l_y / l_x \leq 2$	
30	60	10	10	10
60	80	10	15	20
90	100	15	20	30
120	120	20	25	40

Dimensões mínimas (h) para lajes lisas e cogumelos		
TRRF mín	h mm	C1 mm
30	150	10
60	80	15
90	200	25
120	200	35

Dimensões mínimas (h) para lajes nervuradas biapoiadas				
TRRF mín	Nervuras			Capa h/C1 mm/mm
	Combinações de $b_{mín}/C1$ mm/mm			
	1	2	3	
30	80/15			80/10
60	100/35	120/25	190/15	80/10
90	120/45	160/40	250/30	100/15
120	160/60	190/55	300/40	120/20

Dimensões mínimas (h) para lajes nervuradas apoiadas em três ou quatro lados ou contínuas				
TRRF mín	Nervuras			Capa h/C1 mm/mm
	Combinações de $b_{mín}/C1$ mm/mm			
	1	2	3	
30	80/10			80/10
60	120/25	120/15	190/10	80/10
90	120/35	160/25	250/15	100/15
120	160/45	190/40	300/30	120/20

Fonte: Brasil, 2012.

Os ensaios mostram que em situação de incêndio as peças de concreto rompem usualmente por flexão ou flexo-compressão e não por cisalhamento. Por isso considera-se apenas a armadura longitudinal nesse critério (ABNT, 2012).

A condição adotada para laje foi de um incêndio abaixo da laje. E para vigas e nervuras a condição de fogo adotada foi em três faces (laterais e inferior). A

Tabela 7 apresenta os valores de dimensão mínima do método tabular para vigas biapoiadas e vigas contínuas ou vigas de pórticos.

Tabela 7 - Dimensões mínimas para vigas

---

Dimensões mínimas (h) para vigas biapoiadas

---

TRRF mín	Combinações de $b_{mín}/C1$ mm/mm				bwmín mm
	1	2	3	4	
30	80/25	120/20	160/15	190/15	80
60	120/40	160/35	190/30	300/25	100
90	140/55	190/45	300/40	400/35	100
120	190/65	240/60	300/55	500/50	120

---

Dimensões mínimas (h) para vigas contínuas ou vigas de pórticos

---

TRRF mín	Combinações de $b_{mín}/C1$ mm/mm			bwmín mm
	1	2	3	
30	80/15	160/12	190/12	80
60	120/25	190/12	300/12	100
90	140/35	250/25	400/25	100
120	200/45	300/35	450/35	120

Fonte: Brasil, 2012.

O método tabular também determina dimensões mínimas para tirantes, a fim de garantir sua função corta-fogo, como mostra a Tabela 8.

Tabela 8 - Dimensões mínimas para tirantes

---

Dimensões mínimas (h) para tirantes

---

TRRF mín	Combinações de $b_{mín}/C1$ mm/mm	
	1	2
30	80/25	200/10
60	120/40	300/25
90	140/55	400/45
120	200/65	500/45

Fonte: BRASIL, 2012.

A Tabela 9 apresenta as dimensões mínimas para pilares e pilares parede.



Tabela 9 - Dimensões mínimas para pilares

Dimensões mínimas (h) para pilares				
TRRF mín	Combinações de $b_{mín}/C1$ mm/mm			Uma face exposta
	Mais de uma face exposta			
	$\mu_{fi} = 0,2$	$\mu_{fi} = 0,5$	$\mu_{fi} = 0,7$	$\mu_{fi} = 0,7$
	1	2	3	
30	190/25	190/25	190/30	140/25
60	190/25	190/35	250/45	140/25
90	190/30	300/45	450/40	155/25
120	250/40	350/45	450/50	175/35

Nota:  $\mu_{fi}$  é a relação entre o esforço de cálculo na situação de incêndio e o esforço resistente normal de cálculo do pilar em questão em situação de temperatura normal. Usualmente  $\mu_{fi}$  pode ser avaliado por 0,70 da relação  $S_d/R_d$  em situação normal.

Dimensões mínimas (h) para pilares-parede				
TRRF mín	Combinações de $b_{mín}/C1$ mm/mm			
	$\mu_{fi} = 0,35$		$\mu_{fi} = 0,7$	
	Uma face exposta	Duas faces expostas	Uma face exposta	Duas faces expostas
	1	2	3	4
30	100/10	120/10	120/10	120/10
60	110/10	120/10	130/10	140/10
90	120/20	140/10	140/25	170/25
120	140/25	160/25	160/35	220/35

Fonte: Brasil, 2012.

Para o emprego do método tabular, é necessário observar alguns aspectos das estruturas conforme recomenda a norma:

- No cálculo das espessuras mínimas e distâncias à face do concreto (C1), pode-se considerar o revestimento, respeitadas as seguintes prescrições:
  - Revestimentos aderentes de argamassa de cal e areia possuem 67% de eficiência relativa ao concreto;
  - Revestimentos aderentes de argamassa de cimento e areia possuem 100% de eficiência relativa ao concreto;
  - Revestimentos protetores à base de gesso, vermiculita ou fibras equivalentes desde que aderentes possuem 250% de eficiência relativa ao concreto.
- A elaboração das tabelas foi utilizando os aços CA25, CA50 e CA60 na armadura passiva, evitando que no tirante tracionado a temperatura atinja 500°C em seu centro de gravidade.

- A armadura ativa possui temperatura crítica menor, então é necessário acrescentar à face do concreto 10mm para barras e 15mm para fios e cordoalhas. São admitidas as temperaturas de  $\theta_{cr} = 400^{\circ}\text{C}$  para barras e  $\theta_{cr} = 350^{\circ}\text{C}$  para fios e cordoalhas.

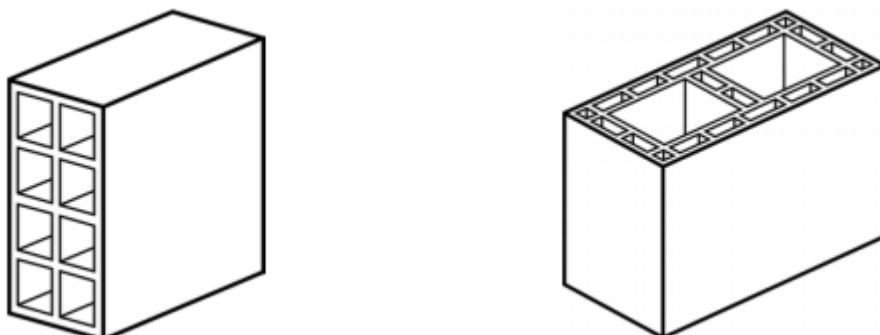
#### 7.2.4 NBR 15270: Componentes cerâmicos – Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação

Essa norma é dividida em duas partes e teve uma atualização em 2017 substituindo e incorporando assim as normas ABNT NBR 7170:1983 Tijolo maciço cerâmico para alvenaria, ABNT NBR 6460:1983 Tijolo maciço cerâmico para alvenaria Verificação de resistência a compressão e ABNT NBR 8041:1983 Tijolo maciço cerâmico para alvenaria Formas e dimensões, além de atualizar a sua última versão de 2005.

A primeira parte trata da terminologia e requisitos, onde especifica as dimensões, propriedades físicas e mecânicas dos blocos e tijolos cerâmicos, e a parte 2 trata dos métodos de ensaios desses blocos (BRASIL, 2017).

Para fins deste estudo serão analisados somente os blocos cerâmicos de vedação estrutural. A Figura 19 apresenta dois tipos de blocos cerâmicos de vedação sem função estrutural.

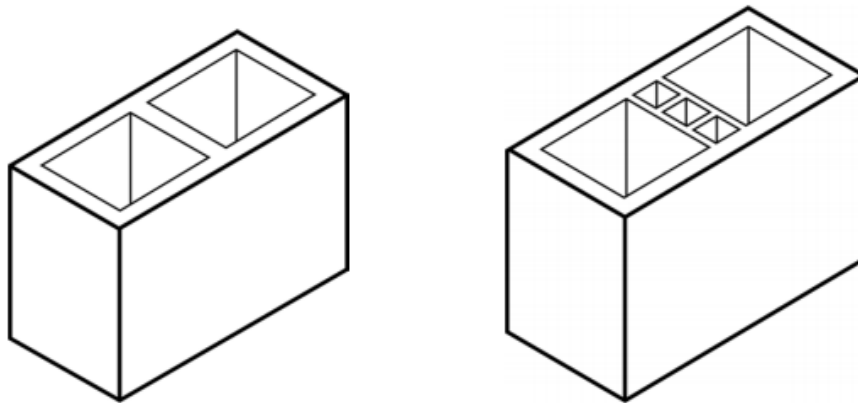
Figura 19 - Bloco cerâmico de vedação com furos na horizontal e vertical



Fonte: Brasil, 2017.

Os blocos cerâmicos de vedação estrutural podem conter paredes externas maciças e internas vazadas ou conter todas as paredes maciças conforme mostra a Figura 20.

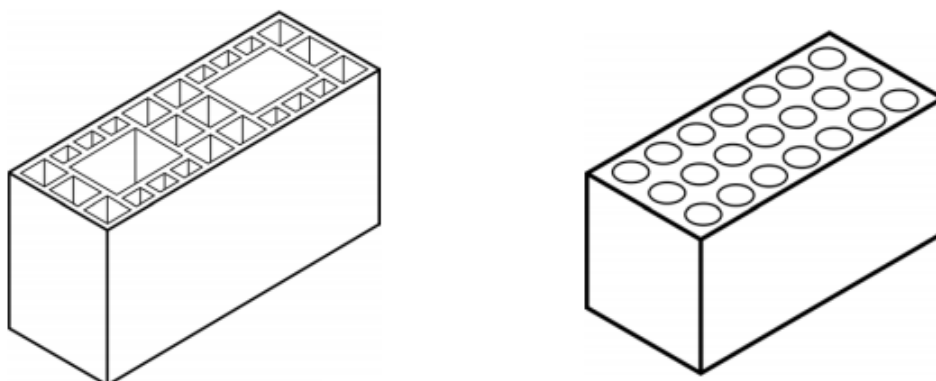
Figura 20 - Bloco cerâmico estrutural com paredes maciças



Fonte: Brasil, 2017.

Os blocos estruturais também podem possuir todas as paredes vazadas ou perfuradas (utilizado na alvenaria estrutural não armada), conforme representado na Figura 21.

Figura 21 - Bloco cerâmico estrutural cerâmico e perfurado



Fonte: ABNT (2017).

Os ensaios realizados nos blocos visam avaliar sua conformidade geométrica, física e mecânica, avaliando as seguintes condições obrigatórias para conformidade dos blocos estruturais:

- Ensaio geométrico: valores das dimensões efetivas das faces, espessura dos septos e paredes externas, desvio em relação ao esquadro, planeza das faces. Não é obrigatório avaliar área bruta e líquida.
- Ensaio físico: índice de absorção de água. Não é obrigatório avaliar a massa seca.
- Ensaio mecânico: resistência à compressão.

### 7.3 Instruções Técnicas de Minas Gerais

#### 7.3.1 IT 06: Segurança estrutural nas edificações

Essa instrução técnica determina requisitos que devem ser atendidos pelos elementos estruturais da edificação assim como de compartimentação que a integram, para que em situações de incêndio seja evitado o colapso estrutural por tempo suficiente para que haja fuga dos ocupantes do espaço e da chegada do serviço de combate a incêndio (MINAS GERAIS, 2020).

Segundo Almeida (2018, p.36), “as instruções técnicas possuem precedência em relação à ABNT”. Sendo assim é possível utilizar como parâmetro o tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) contido na IT 06:2020, apresentados no Quadro 5.

Quadro 5 - Tempos requeridos de resistência ao fogo em minutos (continua na página seguinte)

Grupo	Ocupação/Uso	Divisão	Profundidade do Subsolo h		Altura da edificação h					
					Edificação Baixa		Edificação Média Alta		Medianamente Alta	Alta
			Classe S2 h > 10m	Classe S1 h ≤ 10m	Classe P1 h ≤ 6m	Classe P2 6m < h ≤ 12m	Classe P3 12m < h ≤ 23m	Classe P4 23m < h ≤ 30m	Classe P5 30m < h ≤ 54m	h > 54m
A	Residencial	A-1 a A-3	90	60	30	30	60	90	120	CT
B	Serviços de hospedagem	B-1 e B-2	90	60	30	60 (30)	60	90	120	CT
C	Comercial Varejista	C-1	90	60	60 (30)	60 (30)	60	90	120	CT
		C-2 e C-3	90	60	60	60 (30)	60	90	120	CT
D	Serviços profissionais, pessoais e técnicos	D-1 a D-3	90	60	30	60 (30)	60	90	120	CT

Quadro 5 - Tempos requeridos de resistência ao fogo em minutos

E	Educacional e cultura física	E-1 a E-6	90	60	30	30	60	90	120	CT
F	Locais de reunião de público	F-1, F-2, F-5 e F-6, F-8, F-10, F-11	90	60	60 (30)	60	60	90	120	CT
		F-3, F-4 e F-7	90	60	60	60	30	30	CT	CT
		F-9	CT							
G	Serviços automotivos	G-1 e G-2 não abertos lateralmente e G-3 a G-6	90	60 (30)	30	60 (30)	60	90	120	CT
		G-1 e G-2 abertos lateralmente	90	60 (30)	30	30	30	30	60	120
H	Serviços de saúde e institucionais	H-1 e H-4	90	60	30	60	60	90	120	CT
		H-2, H-3 e H-5	90	60	30	60	60	90	120	CT
I	Industrial	I-1	90 (60)	60 (30)	30	30	30	60	120	CT
		I-2	120	90	30	30	60 (30)	90	120	CT
		I-3	120	90	60 (30)	60 (30)	90 (60)	120 (90)	120	CT
J	Depósitos	J-1	60	30	30	30	30	30	60	CT
		J-2	90	60 (30)	30	30	30	30	60	CT
		J-3	90	60 (30)	30	60	60	120 (90)	120	CT
		J-4	120	90	60	60	90 (60)	120 (90)	120	CT
L	Explosivos	L-1, L-2 e L-3	120	120	120	CT	CT			
M	Especial	M-1	150	150	15	CT				
		M-2	CT							
		M-3	120	90	90	90	120	CT		

## NOTAS DA TABELA:

1. CT = Consultar Corpo Técnico junto ao Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais.

2. Os tempos entre parênteses podem ser usados nas edificações nas quais cada pavimento tenha área menor ou igual a 750,0 m<sup>2</sup>, desde que haja compartimentação vertical entre os pavimentos.

3. O TRRF dos subsolos não pode ser inferior ao TRRF dos pavimentos situados acima do solo (ver item 5.10 da IT 06, CBMMG).

4. Para edificações com altura entre 54m a 80m, poderão ser exigidos os mesmos TRRF das edificações da Classe P5.

Fonte: Minas Gerais, 2020.

Para entendimento das colunas grupo, ocupação/uso e divisão contidos na Tabela 5, deve-se consultar o Decreto Estadual nº 44.746:2008 Prevenção sobre Incêndio e Pânico no Estado de Minas Gerais, que apresenta a classificação das edificações e áreas de risco quando à ocupação conforme o Quadro 6.

Quadro 6 - Classificação das edificações e áreas de risco quanto à ocupação (continua na página seguinte)

Grupo	Ocupação/Usos	Divisão	Descrição	Exemplos
A	Residencial	A-1	Habitação unifamiliar	Casas térreas ou assobradadas (isoladas e não isoladas e condomínios horizontais)
		A-2	Habitação multifamiliar	Edifícios de apartamento em geral
		A-3	Habitação coletiva	Pensionatos, internatos, alojamentos, mosteiros, conventos, residências geriátricas. Capacidade máxima de 16 leitos, sem acompanhamento médico.
B	Serviços de hospedagem	B-1	Hotel e assemelhado	Hotéis, motéis, pensões, hospedarias, pousadas, albergues, casas de cômodos e divisão A3 com mais de 16 leitos, e assemelhados
		B-2	Hotel residencial	Hotéis e assemelhados com cozinha própria nos apartamentos (incluem-se apart-hotéis, hotéis residenciais) e assemelhados.
C	Comercial	C-1	Comércio com baixa carga de incêndio	Armarinhos, artigos de metal, louças, artigos hospitalares e outros.
		C-2	Comércio com média e alta carga de incêndio	Edifícios de lojas de departamentos, magazines, galerias comerciais, supermercados em geral, mercados e outros.
		C-3	Shopping center	Centros de compras em geral (shopping centers).
D	Serviço profissional	D-1	Repartições públicas e locais para prestação de serviço profissional ou condução de negócios	Edificações do Executivo, Legislativo e Judiciário, tribunais, cartórios, escritórios administrativos ou técnicos, instituições financeiras (que não estejam incluídas em D-2), cabeleireiros, teletendimento, centros profissionais e assemelhados.
		D-2	Agência bancária	Agências bancárias e assemelhadas.
		D-3	Serviço de reparação (exceto os classificados em G-4)	Lavanderias, assistência técnica, reparação e manutenção de aparelhos eletrodomésticos, chaveiros, pintura de letreiros e outros.
		D-4	Laboratório	Laboratórios de análises clínicas sem internação, laboratórios químicos, fotográficos e assemelhados.
E	Educacional e cultura física	E-1	Escola em geral	Escolas de primeiro, segundo e terceiro grau, cursos supletivos e pré-universitários e assemelhados.
		E-2	Escola especial	Escolas de arte e artesanato, de línguas, de cultura geral, de cultura estrangeira, escolas religiosas e assemelhados
		E-3	Espaço para cultura física	Locais de ensino e/ou prática de práticas de artes marciais, ginásticas (artística, dança, musculação e outros), esportes coletivos (tênis, futebol e outros que não estejam incluídos em F-3), sauna, casas de fisioterapia e assemelhados.
		E-4	Centro de treinamento profissional	Escolas profissionais em geral.
		E-5	Pré-escola	Creches, escolas maternas, jardins de infância.
		E-6	Escola para portadores de deficiência	Escola para excepcionais, deficientes visuais e auditivos e assemelhados.
F	Local de reunião de público	F-1	Local onde há objeto de valor inestimável	Museus, centros de documentos históricos, bibliotecas e assemelhados.
		F-2	Local religioso ou velório	Igrejas, capelas, sinagogas, mesquitas, templos, cemitérios, crematórios, necrotérios, salas de funerais e assemelhados.

Quadro 6 - Classificação das edificações e áreas de risco quanto à ocupação (continua na página seguinte)

Grupo	Ocupação/Usos	Divisão	Descrição	Exemplos
F	Local de reunião de público	F-3	Centro esportivo de exibição	Estádios, ginásios e piscinas com arquibancadas, rodeios, autódromos, sambódromos, arenas em geral, pistas de patinação e assemelhados.
		F-4	Estação e terminal de passageiro	Estações rodoferroviárias e lacustres, portos, metrô, aeroportos, helipontos, estações de transbordo em geral e assemelhados.
		F-5	Arte cênica	Teatros em geral, cinemas, óperas, auditórios de estúdios de rádio e televisão e assemelhados.
		F-6	Local de diversão	Boates, salões de baile, restaurantes dançantes e casas de show.
		F-7	Evento temporário	Circos, feiras em geral, shows e assemelhados.
		F-8	Local para refeição	Restaurantes, lanchonetes, bares, cafés, refeitórios, cantinas e assemelhados.
		F-9	Recreação	Edificações permanentes de jardins zoológicos, parques recreativos, clubes sociais, bilhares, boliches, casas de jogos e assemelhados.
		F-10	Exposição de objetos e animais	Salões e salas de exposição de objetos e animais, showroom, galerias de arte, aquários, planetários e assemelhados. Edificações permanentes.
G	Serviços automotivos e assemelhados	F-11	Auditórios	Auditórios em geral, com palco sem movimentação de cenários.
		G-1	Garagem sem acesso de público	Garagens automotivas, garagens de veículos de carga e coletivos.
		G-2	Garagem com acesso de público	Garagens coletivas sem automação.
		G-3	Local dotado de abastecimento de combustível	Postos de abastecimento e serviço.
		G-4	Serviço de conservação, manutenção e reparos	Oficinas de conserto de veículos, borracharias (sem recauchutagem), oficinas de veículos de carga e coletivos, máquinas agrícolas e rodoviárias, retificadoras de motores.
		G-5	Hangares	Abrigos para aeronaves.
H	Serviço de saúde e institucional	H-1	Hospital veterinário	Hospitais, clínicas veterinárias (inclui-se alojamento com ou sem adestramento).
		H-2	Locais onde pessoas requerem cuidados especiais por limitações físicas ou mentais	Asilos, orfanatos, abrigos geriátricos, hospitais psiquiátricos, reformatórios, locais para tratamento de dependentes químicos e assemelhados. Todos sem cela.
		H-3	Hospital e assemelhado	Hospitais, casa de saúde, prontos-socorros, clínicas com internação, ambulatórios e postos de atendimento de urgência, postos de saúde e puericultura e assemelhados com internação.
I	Indústria	H-4	Edificações das forças armadas e policiais	Centrais de polícia, delegacias e quartéis sem carceragem, postos policiais e assemelhados.
		I-1	Locais onde as atividades exercidas e os materiais utilizados apresentam baixo potencial de incêndio. Locais com carga de incêndio até 300MJ/m <sup>2</sup>	Atividades que manipulam materiais com baixo risco de incêndio, tais como fábricas em geral, onde os processos não envolvem a utilização intensiva de materiais combustíveis (aço; aparelhos de rádio e som; armas; artigos de metal; gesso; esculturas de pedra; ferramentas; fotogravuras; joias; relógios, sabão; serralheria).

Quadro 6 - Classificação das edificações e áreas de risco quanto à ocupação

Grupo	Ocupação/Usos	Divisão	Descrição	Exemplos
I	Indústria	I-2	Locais onde as atividades exercidas e os materiais utilizados apresentam médio potencial de incêndio. Locais com carga de incêndio acima de 300 até 1.200MJ/m <sup>2</sup>	Atividades que manipulam materiais com médio risco de incêndio, tais como: artigos de vidro; automóveis; bebidas destiladas; instrumentos musicais; móveis; alimentos; marcenarias; fábricas de caixas e assemelhados.
		I-3	Locais onde há alto risco de incêndio. Locais com carga de incêndio superior a 1.200MJ/m <sup>2</sup>	Fabricação de explosivos, atividades industriais que envolvam líquidos e gases inflamáveis, materiais oxidantes, destilarias, refinarias, ceras, espuma sintética, elevadores de grãos, tintas, borracha e assemelhados.
J	Depósito	J-1	Depósitos de material incombustível	Edificações sem processo industrial que armazenam tijolos, pedras, areias, cimentos, metais e outros materiais incombustíveis.
		J-2	Todo tipo de Depósito	Depósitos com carga de incêndio até 300MJ/m <sup>2</sup> .
		J-3	Todo tipo de Depósito	Depósitos com carga de incêndio acima de 300 até 1.200MJ/m <sup>2</sup> .
		J-4	Todo tipo de Depósito	Depósitos com carga de incêndio acima 1.200MJ/m <sup>2</sup> .
L	Explosivos	L-1	Comércio	Comércio em geral de fogos de artifício e assemelhados.
		L-2	Indústria	Indústria de material explosivo.
M	Especial	L-3	Depósito	Depósito de material explosivo.
		M-1	Túnel	Túneis rodoferroviários e lacustres, destinados ao transporte de passageiros ou cargas diversas.
		M-2	Tanques ou Parque de Tanques	Locais destinados à produção, manipulação, armazenamento e distribuição de líquidos ou gases combustíveis e inflamáveis.
		M-3	Central de comunicação e energia	Centrais telefônicas, centros de comunicação, centrais de transmissão, de distribuição de energia e central de processamento de dados.
		M-4	Propriedade em transformação	Locais em construção ou demolição.
		M-5	Processamento de lixo	Propriedades destinadas ao processamento, reciclagem ou armazenamento de material recusado/descartado.
		M-6	Terra selvagem	Florestas, reservas ecológicas, parques florestais e assemelhados.
		M-7	Pátio de Containers	Áreas abertas destinadas ao armazenamento de containers.

Fonte: Minas Gerais, 2008.

Para fins deste estudo apenas serão consideradas as divisões A-1 e A-2 de uso e ocupação residencial de habitação unifamiliar e multifamiliar.



### 7.3.2 IT 09: Carga de incêndio nas edificações e áreas de risco

A instrução técnica 09 do Corpo de Bombeiros de Minas Gerais tem como finalidade “estabelecer valores característicos de Carga de Incêndio<sup>4</sup> nas edificações e áreas de risco, conforme a ocupação e uso específico” (MINAS GERAIS, 2020). As densidades de carga de incêndio constantes são apresentadas no Anexo A (Cargas de incêndio específicas por ocupação) da instrução, apresentado no Anexo I deste trabalho, e quando essa densidade não for uniformemente distribuída como depósitos, explosivos e ocupações especiais, o Anexo B (Método para levantamento da carga de incêndio específica) desta mesma instrução discrimina o método em que deve ser determinada (LOUSA, 2018).

O Quadro 7 classifica as edificações e áreas de risco quanto à carga de incêndio em MJ/m<sup>2</sup>, onde essa densidade é medida pelo valor da carga de incêndio dividido pela área de piso do espaço considerado, expresso em megajoule por metro quadrado (MINAS GERAIS, 2020).

Quadro 7 - Classificação das edificações e áreas de risco quando à carga de incêndio

<b>Risco</b>	<b>Carga de incêndio MJ/m<sup>2</sup></b>
Baixo	Até 300 MJ/m <sup>2</sup>
Médio	Acima de 300 até 1.200 MJ/m <sup>2</sup>
Alto	Acima de 1.200 MJ/m <sup>2</sup>

Fonte: Minas Gerais, 2020.

Para fins deste estudo apenas serão consideradas as divisões A-1 (Casas térreas ou sobrados) e A-2 (Apartamentos) de uso e ocupação residencial. Ambos apresentam carga de incêndio de 300 MJ/m<sup>2</sup> segundo o Anexo A e são classificados, portanto, como risco baixo de carga de incêndio.

### 7.3.3 IT 40: Adequação de medidas de segurança para edificações

Essa instrução técnica do Corpo de Bombeiros de Minas Gerais de 2020 tem como finalidade normatizar a adaptação de medidas de segurança contra incêndio e pânico para edificações existentes e construídas, assim como possibilitar

<sup>4</sup> Soma de todas as energias caloríficas liberadas na combustão completa de todos os materiais no espaço.

adequação às edificações o mais próximo possível às exigências atuais (MINAS GERAIS, 2020).

Essa instrução regulamenta e determina as adequações que essas edificações já existentes devem realizar para atender alguns requisitos para prevenção e combate a incêndio como distância máxima a ser percorrida na rota de fuga, largura dos acessos, sentido de abertura de portas nas rotas de fuga assim como tipo de correr ou enrolar, escadas de acesso restrito enclausuradas e não enclausuradas e sua largura e adaptação, corredor e hall de escada enclausurado, distribuição de hidrantes e mangotinhos, entre outros (MINAS GERAIS, 2020).

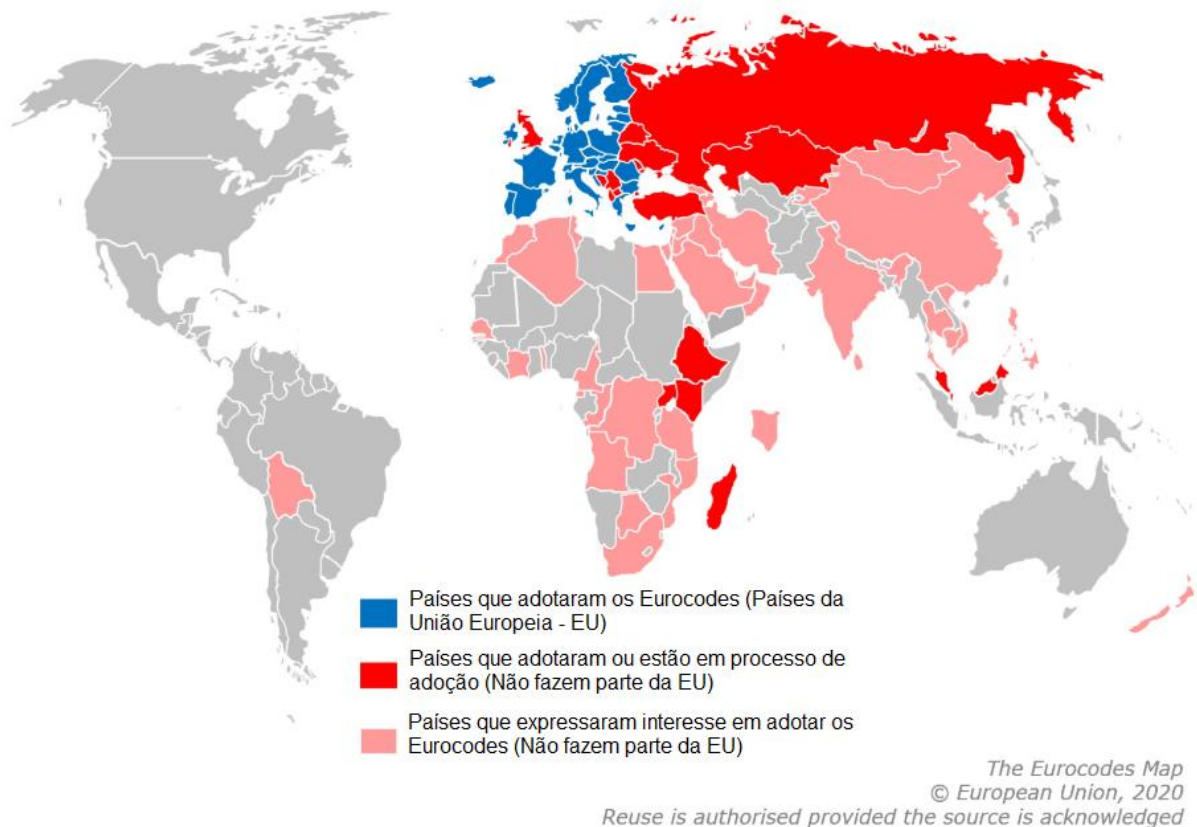
Essa norma não se aplica a este trabalho uma vez que se trata de edificações já existentes e o presente estudo tem como objetivo comparar normas de dimensionamento de estruturas em alvenaria estrutural para resistirem ao fogo.

## 8 EUROCODE

Não existe uma normatização específica que regulamenta o dimensionamento de alvenaria estrutural em casos de incêndio, por esse motivo o Corpo de Bombeiros de Minas Gerais orienta na IT 06:2020 Segurança estrutural nas edificações (MINAS GERAIS, 2020) que seja empregada nesses casos o *Eurocode 6:2005* em sua última edição ou outra norma internacionalmente reconhecida.

Os Eurocódigos são um conjunto de Normas Europeias relativas ao projeto e dimensionamento de estruturas de edificações adotado pelos países pertencentes à União Europeia (EU) entre outros países conforme mostra a Figura 22. Aplicam-se ao projeto estrutural de edifícios entre outras obras de engenharia incluindo aspectos geotécnicos, projeto estrutural de incêndio e situações incluindo terremotos e execução de estruturas temporárias.

Figura 22 - Mapa dos Eurocódigos



Fonte: The *Eurocodes Map*. Disponível em:

<https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/showpage.php?id=8.map&alone>. Acesso em mai. 2020.

A norma *Eurocode:2005* é dividida em 10 eurocódigos que possuem um total de 58 partes divididas entre eles (EN 1990 – 1999). São eles:

- EN 1990:2005 *Eurocode* – Base do projeto estrutural (1 parte)
- EN 1991:2005 *Eurocode* 1 – Ações em estruturas (10 partes)
- EN 1992:2005 *Eurocode* 2 – Projeto de estruturas de concreto (4 partes)
- EN 1993:2005 *Eurocode* 3 – Projeto de estruturas de aço (20 partes)
- EN 1994:2005 *Eurocode* 4 – Projeto de estruturas compostas de aço e concreto (3 partes)
- EN 1995:2005 *Eurocode* 5 – Projeto de estruturas em madeira (3 partes)
- EN 1996:2005 *Eurocode* 6 – Projeto de estruturas de alvenaria (4 partes)
- EN 1997:2005 *Eurocode* 7 – Projeto geotécnico (2 partes)
- EN 1998:2005 *Eurocode* 8 – Projeto de estruturas para resistência a terremotos (6 partes)
- EN 1999:2005 *Eurocode* 9 – Projeto de estruturas de alumínio (5 partes)

A *Eurocode* 6:2005 destinada ao projeto de estruturas em alvenaria é subdividida em 4 partes, sendo elas:

- Parte 1-1: Regras gerais para estruturas de alvenaria reforçadas e não reforçadas
- Parte 1-2: Regras gerais – Projeto de estruturas de incêndio
- Parte 2: Considerações de projeto, seleção de materiais e execução de alvenaria
- Parte 3: Métodos de cálculo simplificados para estruturas de alvenaria não reforçadas

### **8.1 EN 1996: *Eurocode* 6 – Projeto de estruturas em alvenaria**

Essa norma refere-se aos requisitos de resistência, manutenção e durabilidade para garantir a estrutura em alvenaria força e estabilidade e resistência ao fogo. De acordo com Rabelo (2004) a norma utiliza como base para o

dimensionamento da alvenaria estrutural o método dos estados limites últimos (ELU) durante sua execução e utilização durante a vida útil da estrutura, e impõe que a resistência à tração da alvenaria é nula.

Leite (2018, p. 63) afirmou que o *Eurocode* “é o código mais completo quando se fala de dimensionamento de paredes estruturais, pois especifica o nível de carregamento”. A avaliação do comportamento das paredes estruturais pode ser feita através do método tabular, ensaios técnicos em laboratório, método de cálculo analítico ou numérico feito em softwares especializados.

A norma define que as estruturas devem apresentar alguns critérios de resistência quando submetidas ao fogo. As paredes, segundo esses critérios, podem ser classificadas de acordo com as seguintes funções:

- R: resistência
- EI: estanqueidade e isolamento térmico
- REI: resistência, estanqueidade e isolamento térmico
- REI-M: resistência, estanqueidade, isolamento térmico e resistência a impactos mecânicos
- EI-M: estanqueidade, isolamento térmico e resistência a impactos mecânicos

Quando for necessária resistência mecânica, as estruturas deverão ser projetadas e construídas de modo a manter a função de suporte de carga durante a exposição ao fogo. Quando for necessária a compartimentação, os elementos que delimitam os limites do fogo no apartamento, incluindo as juntas, devem ser projetados e construídos de forma a manter sua função de separação durante a exposição ao fogo, ou seja, nenhuma falha de integridade deve ocorrer, a fim de impedir a passagem de chamas e calor, e para evitar a ocorrência de chamas no lado não exposto. Não devem ocorrer falhas de isolamento para diminuir o aumento da temperatura dentro dos níveis de exposição ao fogo (*Eurocode 6*, 2005).

As unidades de blocos de alvenaria são classificadas de acordo com o controle de produção e de acordo com as porcentagens, disposições e dimensões dos furos. Já a argamassa é classificada de acordo com sua resistência de cálculo a compressão, e não pode ser inferior a M1 (1 Mpa) em juntas sem armadura e a M5 (5 Mpa) nas juntas armadas. O graute, responsável pela solidarização da armadura

no furo do bloco, deve possuir resistência mínima aos 28 dias segundo a Tabela 10 de resistência característica à compressão e ao corte (RABELO, 2004).

Tabela 10 - Resistência característica do graute

Classe de resistência do graute	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30
Resistência característica à compressão Fck (Mpa)	12	16	20	25
Resistência característica ao corte Fcvk (Mpa)	0,27	0,33	0,39	0,45

Fonte: Rabelo, 2004.

O anexo B da norma apresenta as tabelas com as dimensões mínimas de espessura das paredes de acordo com alguns requisitos. A Tabela 11 apresenta as espessuras mínimas de paredes carregadas para concreto de agregado normal e leve segundo o critério REI que exige a função de resistência, estanqueidade e isolamento térmico.

Tabela 11 - Espessura mínima de paredes REI carregadas para concreto de agregado normal e leve

Blocos do Grupo 1 - Argamassa: uso geral, camada fina, leve								
Propriedade dos materiais	Nível de carregamento	Dimensões mínimas (mm) para blocos da classificação REI para resistência ao fogo (min)						
		30	45	60	90	120	180	240
Agregado leve $2 \leq f_b \leq 15$ $400 \leq \rho \leq 1600$	$\alpha \leq 1,0$	90/170 (90/140)	90/170 (90/140)	90/170 (90/140)	100/170 (90/140)	100/190 (90/170)	140/240 (100/190)	150/300 (100/240)
	$\alpha \leq 0,6$	70/140 (60/100)	70/140 (60/100)	70/140 (60/100)	90/170 (70/100)	90/170 (70/140)	100/190 (90/170)	100/240 (90/190)
Agregado normal $6 \leq f_b \leq 35$ $1200 \leq \rho \leq 2400$	$\alpha \leq 1,0$	90/170 (90/140)	90/170 (100/140)	90/170 (90/140)	90/170 (90/140)	100/190 (90/170)	140/240 (100/190)	150/300 (100/240)
	$\alpha \leq 0,6$	70/140 (60/100)	90/140 (70/100)	70/140 (70/100)	90/170 (70/100)	90/170 (70/140)	100/190 (90/170)	140/240 (100/190)

Nota:  $f_b$  é resistência à compressão dos blocos,  $\rho$  é a densidade dos blocos e  $\alpha$  é a solicitação de cálculo da parede em situação de incêndio e as solicitações de cálculo em situação normal.

Fonte: Eurocode 6, 2005.

A Tabela 12 apresenta as espessuras mínimas de paredes carregadas para alvenaria cerâmica segundo o critério REI que exige a função de resistência, estanqueidade e isolamento térmico.

Tabela 12 - Espessura mínima de paredes REI carregadas de alvenaria cerâmica

		Alvenaria cerâmica						
Propriedade dos materiais	Nível de carregamento	Dimensões mínimas (mm) para blocos da classificação REI para resistência ao fogo (min)						
		30	45	60	90	120	180	240
Bloco IS $5 \leq f_b \leq 75$ (argamassa de uso geral)	$\alpha \leq 1,0$	90	90	90	100	100/140	170/190	170/190
		(70/90)	(70/90)	(70/90)	(70/90)	(90/140)	(110/140)	(170/190)
$5 \leq f_b \leq 50$ (camada fina de argamassa) $1000 \leq \rho \leq 14400$	$\alpha \leq 0,6$	90	90	90	100	100/140	170	170
		(70/90)	(70/90)	(70/90)	(70/90)	(100/140)	(110/140)	(140/170)
Bloco do Grupo 1 Argamassa: uso geral, camada fina, leve	$\alpha \leq 1,0$	90/100	90/100	90/100	100/170	140/170	170/190	190/210
		(70/90)	(70/90)	(70/90)	(70/90)	(100/140)	(110/170)	(170/190)
$5 \leq f_b \leq 75$ $800 \leq \rho \leq 2400$	$\alpha \leq 0,6$	90/100	90/100	90/100	100/140	140/170	140/170	190/200
		(70/90)	(70/90)	(70/90)	(70/90)	(100/140)	(110/170)	(170/190)

Nota:  $f_b$  é resistência à compressão dos blocos,  $\rho$  é a densidade dos blocos e  $\alpha$  é a solicitação de cálculo da parede em situação de incêndio e as solicitações de cálculo em situação normal.

Fonte: Eurocode 6, 2005.

Alguns blocos e argamassas específicos podem ser dimensionados pelo método analítico simplificado, que consiste segundo Leite (2018), na determinação de duas temperaturas bases para o dimensionamento de paredes com: blocos de alvenaria e argamassa sem revestimento, blocos cerâmicos com argamassa comum, blocos de silicato de cálcio com uma fina camada de argamassa, blocos de agregado leve com argamassa comum, blocos de agregado normal com argamassa comum e bloco celular autoclavado<sup>5</sup> com uma fina camada de argamassa. Essas duas temperaturas ( $\theta_1$  e  $\theta_2$ ) consistem em definir a resistência da alvenaria à compressão residual até determinada temperatura e a partir de onde essa resistência passa a ser considerada nula, respectivamente conforme apresentado no Quadro 8.

Quadro 8 - Valores de  $\theta_1$  e  $\theta_2$  em função dos materiais

Tipos de blocos de alvenaria e argamassa (superfície desprotegida)	Temperatura (°C)	
	$\theta_1$	$\theta_2$
Blocos cerâmicos com argamassa comum	600	100
Blocos de silicato de cálcio com uma fina camada de argamassa	500	100
Bloco de agregado leve com argamassa comum	400	100
Bloco de agregado normal com argamassa comum	500	100
Bloco celular clavado com uma fina camada de argamassa	700	200

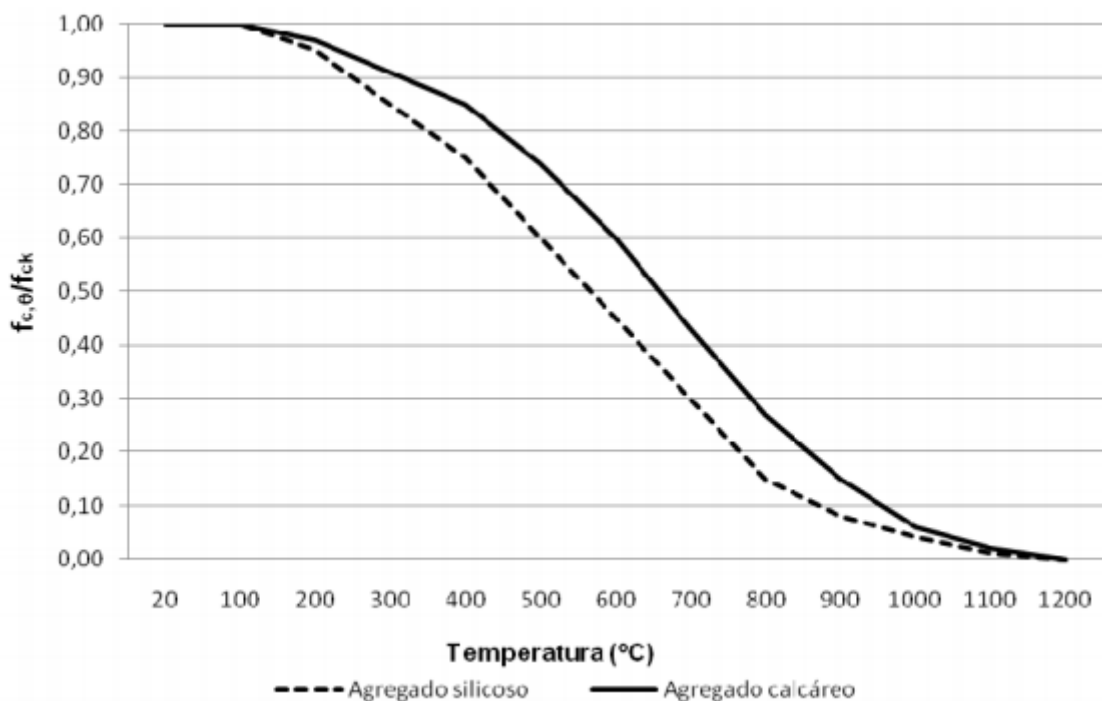
Fonte: Leite, 2018 (apud EUROCODE 6, 2005).

<sup>5</sup> É um material pré-fabricado - com aglomerantes (cimento e cal), agregados miúdos, água e um agente expander.

É possível perceber que a maioria dos materiais de execução da parede de alvenaria perde completamente sua resistência à compressão a partir dos 100°C.

Segundo a *Eurocode 2:2005* que trata de projeto de estruturas em concreto convencional ou armado, pode ser estimada curva que o concreto admite de resistência de concretos a base de agregados silicosos e calcáreos à medida que sobe a temperatura. Segundo o gráfico apresentado na Figura 23, pode-se observar que concretos com agregados silicosos possuem maior perda de resistência à compressão quando submetidos a altas temperaturas.

Figura 23 - Resistência do concreto à compressão em função da temperatura

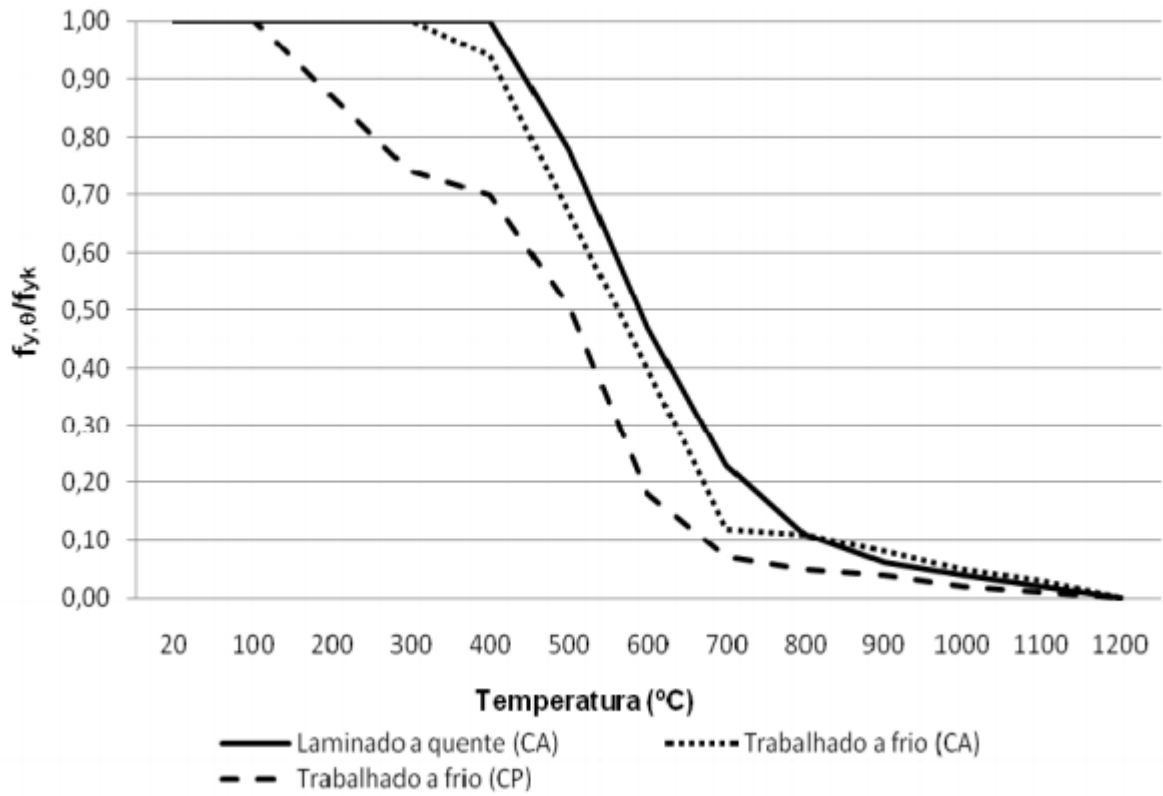


Fonte: Rigão, 2012 (apud *EUROCODE 2*, 2005).

Da mesma forma, a norma determina, conforme mostra a Figura 24, a curva realizada pelo aço quando submetido ao aumento de temperatura, sendo apresentados: o aço laminado a quente (CA), o aço trabalhado a frio (CP) e o aço trabalhado a frio (CA). O que mais sofre perda de resistência ao escoamento é o aço CP, mas todos os tipos chegam à resistência quase nula quando atingem a temperatura de 1200°C.



Figura 24 - Redução da resistência do aço em função da temperatura



Fonte: Rigão, 2012 (apud EUROCODE 2, 2005).

## 9 ANÁLISES E RESULTADOS

Para um dimensionamento mais eficiente e voltado à realidade mineira da alvenaria estrutural em situação de incêndio se faz necessária uma comparação entre as normas do estado e a *Eurocode 6:2005* Projeto de estruturas em alvenaria na sua Parte 1-2 que trata do projeto de estruturas em incêndio. Sendo assim, neste capítulo são analisados os pontos de interesse de todas as normas pertinentes ao dimensionamento da alvenaria estrutural em situação de incêndio pelo método tabular (não serão considerados cálculos analíticos ou através de softwares) comparando as determinações em comum e distintas entre as normas de Minas Gerais e a *Eurocode 6:2005* Parte 1-2.

Para o dimensionamento da alvenaria estrutural em situação de incêndio, é necessário analisar alguns fatores de acordo com o que determinam as normas brasileiras e as instruções técnicas do corpo de bombeiros de Minas Gerais pertinentes à temática, assim como a norma europeia *Eurocode 6:2005*. Esses fatores são apresentados abaixo: classificação da edificação quanto ao uso e ocupação e quanto à carga de incêndio, as exigências de resistência ao fogo como estanqueidade e isolamento térmico, e os itens que compõem a alvenaria estrutural, como os blocos (cerâmicos ou de concreto), grautes e lajes.

### 9.1 Classificação da Edificação

A IT 09:2020 do Corpo de Bombeiros de Minas Gerais e a ABNT NBR 14432:2001 classificam as edificações e áreas de risco quanto à carga de incêndio.

Quadro 9 - Classificação da edificação quanto à carga de incêndio

<b>Classificação da edificação quanto à carga de incêndio</b>			
<b>Norma</b>	<b>IT 09</b>	<b>NBR 14432</b>	<b><i>Eurocode 6</i></b>
<b>Título</b>	<b>Carga de incêndio nas edificações e áreas de risco</b>	<b>Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos</b>	<b>Projeto de estruturas de alvenaria</b>
<b>Ocupação / Uso</b>	Classe A: Residencial	Classe A: Residencial	Não considera uso e ocupação da estrutura para dimensionamento
<b>Divisão</b>	A-1 e A-2	A-1 e A-2	
<b>Carga de incêndio</b>	Até 300 MJ/m <sup>2</sup>	300 MJ/m <sup>2</sup>	

Fonte: As autoras (2020).

As edificações do grupo Residencial de divisão A-1 e A-2 são classificadas em baixo risco conforme o Quadro 9. A *Eurocode 6:2005* desconsidera esse tipo de divisão das edificações.

Quadro 10 - Classificação da edificação quanto ao uso e ocupação

<b>Classificação da edificação quanto ao uso e ocupação</b>			
<b>Norma</b>	<b>IT 06</b>	<b>NBR 14323</b>	<b><i>Eurocode 6</i></b>
<b>Título</b>	<b>Segurança estrutural nas edificações</b>	<b>Projeto de estruturas de aço e estruturas mistas de aço-concreto de edifícios em situação de incêndio</b>	<b>Projeto de estruturas de alvenaria</b>
<b>Ocupação / Uso</b>	Classe A: Residencial	Considerando especificações da NBR 14432 e NBR 5628	Não considera uso e ocupação da estrutura para dimensionamento
<b>Divisão</b>	A-1 e A-2		
<b>TRRF</b>	Altura baixa: 30 min Altura média: 60 a 90 min Altura alta: 120 min	Máximo de 120 min	

Fonte: As autoras (2020).

As edificações são classificadas quanto ao uso e ocupação para estimar o tempo referido de resistência ao fogo (TRRF) segundo a IT 06:2020 de Minas Gerais como apresentado no Quadro 10. A *Eurocode 6:2020* desconsidera esse tipo de divisão das edificações.

## 9.2 Exigências de Resistência ao Fogo

As normas que tratam do projeto de estruturas em situação de incêndio, como a ABNT NBR 15200:2012 e a ABNT NBR 14432:2001, exigem como critérios básicos que as estruturas forneçam nessa situação capacidade suficiente de estanqueidade e isolamento térmico. Assim como a Norma Desempenho, que além de exigir esses mesmos critérios de segurança também expressa a necessidade da capacidade de resistência ao fogo.

O código europeu também determina esses critérios de resistência segundo algumas classificações conforme apresenta o Quadro 11.

Quadro 11 - Exigências de resistência ao fogo

Exigências de resistência ao fogo					
Norma	NBR 15200	NBR 14432	NBR 15575	Eurocode 6	
Título	Projeto de estruturas em concreto em situação de incêndio	Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos	Norma Desempenho	Projeto de estruturas de alvenaria	
Critérios de exigência das estruturas para resistência ao fogo	Estanqueidade	Estanqueidade	Estanqueidade	R - Resistência	REI - Resistência, estanqueidade e isolamento térmico
	Isolamento térmico	Isolamento térmico	Isolamento térmico	EI - Estanqueidade e isolamento térmico	REI-M: resistência, estanqueidade, isolamento térmico e resistência a impactos mecânicos
	-	-	Resistência ao fogo	REI - Resistência, estanqueidade e isolamento térmico	EI-M: estanqueidade, isolamento térmico e resistência a impactos mecânicos
	-	-	-	EI - Estanqueidade e isolamento térmico	-

Fonte: As autoras, 2020.

### 9.3 Componentes Estruturais

A partir da determinação tabular do TRRF das edificações de interesse ao presente estudo, é possível determinar as dimensões mínimas para os componentes estruturais da alvenaria estrutural com base nas especificações das normas brasileiras e do EN 1996 (1-2):2005.

O aço e o concreto possuem curvas que representam sua redução da capacidade de resistência ao escoamento no caso do aço e à compressão do concreto quando submetidos à elevação da temperatura. Essa curva de redução de resistência em relação à temperatura do concreto pode ser observada segundo a ABNT NBR 15200:2012 que foi elaborada segundo recomendações de normas brasileiras e da *Eurocode 2*:2005. Nota-se devido a isso, a similaridade dos valores

mostrados no Quadro 12, apesar da norma brasileira citar a adequação de suas determinações devido à relevância de se considerar a realidade brasileira.

Quadro 12 - Redução da resistência do concreto à compressão em função da temperatura segundo a NBR 15200 e a Eurocode 6

<b>Norma</b>	<b>NBR 15200</b>		<b>Eurocode 6</b>	
<b>Título</b>	<b>Projeto de estruturas de aço e estruturas mistas de aço-concreto de edifícios em situação de incêndio</b>		<b>Projeto de estruturas de alvenaria</b>	
<b>Temperatura °C</b>	<b>Fck Concreto calcáreo</b>	<b>Fck Concreto silicoso</b>	<b>Fck Concreto calcáreo</b>	<b>Fck Concreto silicoso</b>
<b>20</b>	1,00	1,00	1,00	1,00
<b>100</b>	1,00	1,00	1,00	1,00
<b>200</b>	0,98	0,95	0,98	0,95
<b>300</b>	0,92	0,84	0,92	0,84
<b>400</b>	0,85	0,74	0,85	0,74
<b>500</b>	0,75	0,60	0,75	0,60
<b>600</b>	0,60	0,45	0,60	0,45
<b>700</b>	0,42	0,30	0,42	0,30
<b>800</b>	0,28	0,14	0,28	0,14
<b>900</b>	0,16	0,09	0,16	0,09
<b>1000</b>	0,07	0,04	0,07	0,04
<b>1100</b>	0,03	0,01	0,03	0,01
<b>1200</b>	0,00	0,00	0,00	0,00

**Nota:** Dados aproximados obtidos a partir da análise dos gráficos apresentados nas normas NBR 15200 e Eurocode 6 de resistência do concreto em função da temperatura

Fonte: As autoras, 2020.

O código europeu também restringe o comportamento do aço em função do aumento da temperatura conforme apresentado no Quadro 13. Porém as normas brasileiras e as instruções técnicas do estado não abrangem o dimensionamento estrutural em situação de incêndio do aço utilizado na alvenaria estrutural que possui função de conectar os elementos evitando fissuras.

Quadro 13 - Redução da resistência do aço em função da temperatura

Norma	NBR 15200			Eurocode 6		
Título	Projeto de estruturas de aço e estruturas mistas de aço-concreto de edifícios em situação de incêndio			Projeto de estruturas de alvenaria		
Temperatura °C	Fyk Aço trabalhado a frio (CP)	Fyk Aço trabalhado a frio (CA)	Fyk Aço laminado a quente (CA)	Fyk Aço trabalhado a frio (CP)	Fyk Aço trabalhado a frio (CA)	Fyk Aço laminado a quente (CA)
20	Não considera a resistência do aço em função da temperatura	Não considera a resistência do aço em função da temperatura	Não considera a resistência do aço em função da temperatura	1,00	1,00	1,00
100				1,00	1,00	1,00
200				0,87	1,00	1,00
300				0,73	1,00	1,00
400				0,70	0,94	1,00
500				0,50	0,66	0,78
600				0,28	0,40	0,46
700				0,08	0,12	0,22
800				0,06	0,10	0,11
900				0,05	0,08	0,06
1000				0,02	0,04	0,04
1100				0,01	0,03	0,02
1200				0,00	0,00	0,00

**Nota:** Dados aproximados obtidos a partir da análise dos gráficos apresentados nas normas NBR 15200 e Eurocode 6 de resistência do aço em função da temperatura

Fonte: As autoras, 2020.

O graute, um dos elementos da alvenaria estrutural, possui dimensões definidas de acordo com o bloco utilizado na execução da obra e a altura da parede em questão. Sendo suas dimensões variáveis, o Eurocódigo determina como critério de resistência ao fogo, sua capacidade de resistir (em Mpa) aos 28 dias de acordo com a classe do concreto, conforme a Tabela 13.

Tabela 13 - Resistência característica do graute segundo a Eurocode 6

Classe de resistência do graute	Eurocode 6			
	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30
Resistência característica à compressão Fck (Mpa)	12	16	20	25
Resistência característica ao corte Fcvk (Mpa)	0,27	0,33	0,39	0,45

Fonte: As autoras, 2020.

Não há norma brasileira que determine resistência mínima do graute a elevadas temperaturas para dimensionamento da alvenaria estrutural em situação de incêndio.

Segundo a ABNT NBR 15200:2012 é possível determinar pelo método tabular as dimensões mínimas de alguns componentes estruturais para garantir sua resistência ao fogo, estanqueidade e isolamento térmico. Esses componentes são lajes, vigas, pilares e tirantes. Porém a alvenaria estrutural é um tipo construtivo que não utiliza vigas, pilares ou tirantes. Sendo sua capacidade estrutural resistida pelas paredes de blocos estruturais com cintas de travamento horizontal e pela laje. A norma brasileira define conforme a Tabela 14 a espessura mínima de laje de acordo com as recomendações da *Eurocode 2:2005*.

Tabela 14 - Espessura mínima para lajes apoiadas em vigas

<b>NBR 15200 segundo recomendações da <i>Eurocode 2</i></b>				
<b>TRRF mín</b>	<b>h mm</b>	<b>Armada em duas direções</b>		<b>Armada em uma direção</b>
		<b><math>l_y / l_x \leq 1,5</math></b>	<b><math>1,5 &lt; l_y / l_x \leq 2</math></b>	
30	60	10	10	10
60	80	10	15	20
90	100	15	20	30
120	120	20	25	40

Fonte: Brasil, 2012.

Para análise da espessura da laje a ser dimensionada se faz necessária análise da ABNT NBR 14323:2013 que considera TRRF máximo de 120 minutos, e da CBMMG IT 09:2020 que considera o TRRF para edificações residenciais de classe A-1 e A-2 variando de 30 a 120 minutos de acordo com a altura da edificação.

A *Eurocode 6:2005* dimensiona também as estruturas em alvenaria segundo as espessuras mínimas de paredes de acordo com as propriedades dos materiais utilizados na fabricação dos blocos estruturais. O Quadro 14 apresenta as dimensões mínimas de paredes REI carregadas para concreto de agregado normal e leve.

Quadro 14 - Espessura mínima de paredes REI carregadas para concreto de agregado normal e leve

<b>Eurocode 6</b>								
<b>Blocos do Grupo 1 - Argamassa: uso geral, camada fina, leve</b>								
Propriedade dos materiais	Nível de carregamento	Dimensões mínimas (mm) para blocos da classificação REI para resistência ao fogo (min)						
		30	45	60	90	120	180	240
Agregado leve $2 \leq f_b \leq 15$ $400 \leq \rho \leq 1600$	$\alpha \leq 1,0$	90/170	90/170	90/170	100/170	100/190	140/240	150/300
		(90/140)	(90/140)	(90/140)	(90/140)	(90/170)	(100/190)	(100/240)
	$\alpha \leq 0,6$	70/140	70/140	70/140	90/170	90/170	100/190	100/240
		(60/100)	(60/100)	(60/100)	(70/100)	(70/140)	(90/170)	(90/190)
Agregado normal $6 \leq f_b \leq 35$ $1200 \leq \rho \leq 2400$	$\alpha \leq 1,0$	90/170	90/170	90/170	90/170	100/190	140/240	150/300
		(90/140)	(100/140)	(90/140)	(90/140)	(90/170)	(100/190)	(100/240)
	$\alpha \leq 0,6$	70/140	90/140	70/140	90/170	90/170	100/190	140/240
		(60/100)	(70/100)	(70/100)	(70/100)	(70/140)	(90/170)	(100/190)

Nota:  $f_b$  é resistência à compressão dos blocos,  $\rho$  é a densidade dos blocos e  $\alpha$  é a solicitação de cálculo da parede em situação de incêndio e as solicitações de cálculo em situação normal.

Fonte: Eurocode 6, 2005.

O Quadro 15 apresenta as espessuras mínimas de paredes REI carregadas para alvenarias cerâmicas determinadas pelo código europeu.

Quadro 15 - Espessura mínima de paredes REI carregadas de alvenaria cerâmica

<b>Eurocode 6</b>								
<b>Alvenaria cerâmica</b>								
Propriedade dos materiais	Nível de carregamento	Dimensões mínimas (mm) para blocos da classificação REI para resistência ao fogo (min)						
		30	45	60	90	120	180	240
Bloco IS $5 \leq f_b \leq 75$ (argamassa de uso geral) $5 \leq f_b \leq 50$ (camada fina de argamassa) $1000 \leq \rho \leq 14400$	$\alpha \leq 1,0$	90	90	90	100	100/140	170/190	170/190
		(70/90)	(70/90)	(70/90)	(70/90)	(90/140)	(110/140)	(170/190)
	$\alpha \leq 0,6$	90	90	90	100	100/140	170	170
		(70/90)	(70/90)	(70/90)	(70/90)	(100/140)	(110/140)	(140/170)
Bloco do Grupo 1 Argamassa: uso geral, camada fina, leve $5 \leq f_b \leq 75$ $800 \leq \rho \leq 2400$	$\alpha \leq 1,0$	90/100	90/100	90/100	100/170	140/170	170/190	190/210
		(70/90)	(70/90)	(70/90)	(70/90)	(100/140)	(110/170)	(170/190)
	$\alpha \leq 0,6$	90/100	90/100	90/100	100/140	140/170	140/170	190/200
		(70/90)	(70/90)	(70/90)	(70/90)	(100/140)	(110/170)	(170/190)

Nota:  $f_b$  é resistência à compressão dos blocos,  $\rho$  é a densidade dos blocos e  $\alpha$  é a solicitação de cálculo da parede em situação de incêndio e as solicitações de cálculo em situação normal.

Fonte: Eurocode 6, 2005.

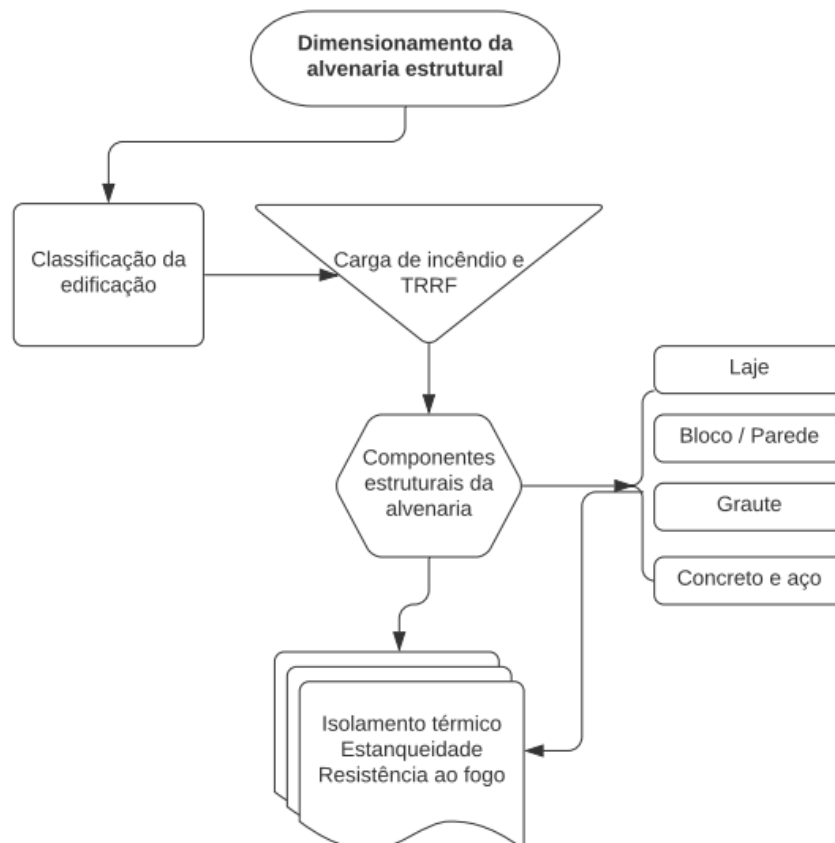


Como não há normativa brasileira que trata da situação e dimensionamento da alvenaria estrutural em situação de incêndio, o dimensionamento tabular de blocos e paredes feitas com essa técnica construtiva apenas é encontrado no Eurocódigo.

#### 9.4 Resultados Obtidos

A partir da análise entre as normativas vigentes no Estado de Minas Gerais e o Eurocódigo EN 1996:1-2 de 2005, é possível perceber que para um dimensionamento eficiente da alvenaria estrutural em relação à resistência ao fogo é necessário analisar diversos fatores. Sendo assim, o fluxograma da Figura 25 apresenta o procedimento para se iniciar o dimensionamento.

Figura 25 - Fluxograma dimensionamento da alvenaria estrutural ao incêndio



Fonte: As autoras, 2020.

As instruções técnicas do CBMMG determinam o grau de risco da edificação a partir da carga de incêndio, necessário para identificar os requisitos de

segurança que devem ser empregados no projeto de incêndio, assim como o tempo requerido de resistência ao fogo a partir do uso e ocupação da edificação.

Para que a edificação seja considerada eficaz na resistência ao fogo deve apresentar capacidade de isolamento térmico, estanqueidade e resistência ao fogo conforme determinam as normas brasileiras de dimensionamento e a *Eurocode 6:2005*. Para que esses parâmetros sejam alcançados, a estrutura residencial classe A-1 e A-2 de baixo risco e carga de incêndio 300 MJ/m<sup>2</sup>, deve resistir a no mínimo 120 minutos.

A partir desse tempo, é possível determinar pelo método tabular da *Eurocode 6:2005*, parte 1-2, as dimensões mínimas de alguns componentes estruturais da alvenaria conforme apresentado no Quadro 16. O graute é determinado de acordo com o tipo de concreto a ser utilizado desconsiderando alteração do dimensionamento devido a aumento de temperatura.

Quadro 16 - Dimensionamento da alvenaria estrutural para um TRRF de 120 minutos

<b>Dimensionamento da alvenaria estrutural para um TRRF 120 minutos</b>			
<b>Componente estrutural</b>	<b>Condições</b>	<b>Dimensões mínimas (mm)</b>	
Laje	Altura mínima	120	
Bloco de concreto normal e leve	Agregado leve $2 \leq f_b \leq 15$ $400 \leq \rho \leq 1600$	$\alpha \leq 1,0$	100/190
		$\alpha \leq 0,6$	90/170
	Agregado normal $6 \leq f_b \leq 35$ $1200 \leq \rho \leq 2400$	$\alpha \leq 1,0$	100/190
		$\alpha \leq 0,6$	90/170
Bloco cerâmico normal e leve	Bloco IS $5 \leq f_b \leq 75$ (argamassa de uso geral) $5 \leq f_b \leq 50$ (camada fina de argamassa) $1000 \leq \rho \leq 14400$	$\alpha \leq 1,0$	100/140
		$\alpha \leq 0,6$	100/140
	Bloco do Grupo 1 Argamassa: uso geral, camada fina, leve $5 \leq f_b \leq 75$ $800 \leq \rho \leq 2400$	$\alpha \leq 1,0$	140/170
		$\alpha \leq 0,6$	140/170

Nota:  $f_b$  é resistência à compressão dos blocos,  $\rho$  é a densidade dos blocos e  $\alpha$  é a solicitação de cálculo da parede em situação de incêndio e as solicitações de cálculo em situação normal.

Fonte: As autoras, 2020.

Entretanto, vale ressaltar que de acordo com as tabelas de resistência ao fogo do aço e concreto, é possível notar que ambos apresentam resistência quase nula quando as chamas atingem temperaturas de 1000°C. Devido a isso se percebe a importância de retardar a propagação das chamas e evitar que a combustão dos materiais atinja a fase de *flash over* que pode alcançar temperaturas de até 1100°C danificando de maneira irreversível a estrutura da edificação.

## 10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Construções feitas de alvenaria estrutural vêm crescendo gradativamente a partir do incentivo às construções de moradias populares que exigem menores prazos de execução e maior economia. Sendo assim, se faz necessária uma orientação do dimensionamento das estruturas a fim de garantir a segurança da população que utiliza dessas edificações e para que possa ser evitado um possível colapso estrutural em uma circunstância de exposição ao fogo.

As normas brasileiras em conjunto com as instruções técnicas de Minas Gerais existentes não são suficientes para um dimensionamento de edificações de alvenaria estrutural em situação de incêndio devido às características de seus componentes estruturais serem diferentes das estruturas convencionais de concreto armado.

A propagação do fogo nos blocos estruturais difere de acordo com os tipos de agregados usados na sua composição, assim como a existência ou não de revestimento e preenchimento dos vazios. Esses dados são apresentados em ensaios realizados por estudiosos do tema, mas não há normativa brasileira que apresente tais características que são fundamentais na análise e dimensionamento da alvenaria estrutural perante a uma possível situação de incêndio. Por isso a consulta de normativas internacionalmente conceituadas como a *Eurocode* ainda se faz necessária.

Porem se faz necessária uma normativa nacional para dimensionamento da alvenaria estrutural em situação de incêndio uma vez que para aplicabilidade de tal norma estrangeira ao Brasil deve considerar as particularidades e a realidade brasileira, uma vez que cada país possui especificações de geometria, tipos de componentes, composição dos agregados, entre outras capacidades e características distintas.

Sendo assim, para posteriores estudos é possível adequar as especificações encontradas à realidade brasileira através de ensaios laboratoriais e softwares de dimensionamento estrutural a fim de corroborar os parâmetros encontrados.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. C. **Verificação de segurança estrutural de pilares de concreto armado em situação de incêndio**. Monografia (Graduação em engenharia civil), Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia/MG. 2018.

ANDRADE, R. S.; GODINHO, D. S. S. **Dimensionamento comparativo de um edifício em concreto armado: Ações normais x situação de incêndio**. Artigo (Graduação em engenharia civil), Universidade do Extremo Sul Catarinense, Santa Catarina/SC. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA (ABCI). **Manual Técnico de Alvenaria**. São Paulo/SP. 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14323: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio**. Rio de Janeiro/RJ. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14432: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações: procedimento**. Rio de Janeiro/RJ. 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14762: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio - Procedimento**. Rio de Janeiro/RJ. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14974: Bloco sílico-calcário para alvenaria**. Rio de Janeiro/RJ. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15200: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio**. Rio de Janeiro/RJ. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15270-2: Componentes cerâmicos: blocos cerâmicos para alvenaria estrutural: terminologia e requisitos**. Rio de Janeiro/RJ. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575: Edificações habitacionais - Desempenho**. Rio de Janeiro/RJ. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5628: Componentes construtivos estruturais - Determinação da resistência ao fogo**. Rio de Janeiro/RJ. 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento**. Rio de Janeiro/RJ. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Requisitos.** Rio de Janeiro/RJ. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7170: Tijolo maciço cerâmico para alvenaria.** Rio de Janeiro/RJ. 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8041: Tijolo maciço cerâmico para alvenaria - Forma e dimensões - Padronização.** Rio de Janeiro/RJ. 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.** Rio de Janeiro/RJ. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9062: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado.** Rio de Janeiro/RJ. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9077: Saída de emergência em edifícios.** Rio de Janeiro/RJ. 2001.

ATAÍDE, C. A. V.; CORRÊA, M. R. S. **Estudo comparativo entre o método das tensões admissíveis e o método dos estados limites para a alvenaria estrutural.** Artigo publicado no Caderno de Engenharia de Estruturas de São Carlos. São Paulo/SP. 2006.

BUSI, T. P. **Análise Comparativa de edifícios em alvenaria estrutural de blocos cerâmicos: Geometria em planta baixa mais recomendada.** Monografia (Graduação em engenharia civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul/RS. 2009.

CAVAZ, J. **Teoria do Fogo.** Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro/RJ. 2018.

CORDOVIL, L. A. B. L. **Estudo da ABNT NBR 15575 – “Edificações habitacionais – Desempenho” e possíveis impactos no setor da construção civil na cidade do Rio de Janeiro.** Monografia (Graduação em engenharia civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro/RJ. 2013.

CORREA, C.; SILVA, J. F. R.; PIRES, T. A. **Mortes em incêndios em edificações: uma análise da cidade de Recife no ano de 2011.** Artigo – Universidade Federal de Pernambuco. Recife/PE. 2017.

CORREA, R. R.; CANTERLE, N. M. G. **Aceitabilidade do sistema construtivo em alvenaria estrutural de blocos de concreto pelas construtoras de Francisco Beltrão – PR.** Artigo – II CONAPE. Paraná/PR. 2013.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE MINAS GERAIS. **IT 06: Segurança estrutural das edificações.** Minas Gerais, 2020.

- CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE MINAS GERAIS. **IT 09: Carga de incêndio nas edificações e áreas de risco**. Minas Gerais, 2020.
- CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE MINAS GERAIS. **IT 40: Adequação de medidas de segurança para edificações**. 2ªed. Minas Gerais, 2020.
- CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE GOIÁS. **Portaria 258/2017: Prevenção e combate a incêndios florestais**. Goiás, 2017.
- DEL CARLO, U. **A segurança contra incêndio no mundo**. São Paulo: Projeto Editora, 2008. p. 9-17.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Eurocode 6: EN 2005- 1.2: Design of masonry structures: part 1-2: general rules: structural fire design**. Brussels, 2005.
- FLORES, B. C.; ORNELAS, É. A.; DIAS, L. E. **Fundamentos de Combate a Incêndio** – Manual de Bombeiros. Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás. 1ªed. Goiânia-GO, 2016.
- HOFFMANN, L. G.; BRESSIANI, L.; FURLAN, G. C.; THOMAZ, W. A. **Alvenaria Estrutural: Um levantamento das vantagens, desvantagens e técnicas utilizadas, com base em uma pesquisa bibliográfica nacional**. III Simpósio de Pós Graduação em Engenharia Urbana. Paraná, 2012.
- INGHAM, J. **Forensic Engineering of Fire Damaged Structures**. ICE, v. 162, p. 12-17, 2009.
- IZQUIERDO, O. S. **Estudo da interface bloco/graute em elementos de alvenaria estrutural**. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2015.
- KNIGHT, R. **Física 2: uma abordagem estratégica**. 2ªed. Porto Alegre: Bookman, 2009. Disponível em: Minha Biblioteca – ADX Doctum. Acesso em: out. 2019.
- LEITE, H. A. L.; JUNIOR, A. L. M.; TORRES, D. L. **Dimensionamento da Alvenaria Estrutural em Situação de Incêndio: Contribuição à Futura Normatização Nacional**. Artigo Científico – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1678-86212016000200089](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212016000200089)>. Acesso em: 05 ago. 2019.
- LEITE, H. A. L. **Alvenaria estrutural em situação de incêndio – Proposta de avaliação com vistas à normatização**. Dissertação de Mestrado apresentada a Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de Estruturas e Geotécnica. Campinas, 2018. Disponível em: <[http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/331462/1/Leite\\_HelenaAriasLara\\_M.pdf](http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/331462/1/Leite_HelenaAriasLara_M.pdf)>. Acesso em: 02 abr. 2020.
- LINCK, F. et al. Alvenaria Estrutural: **Eficiência construtiva nas habitações de interesse social**. Universidade Feevale. Rio Grande do Sul, 2011.

LOUSA, C. Z. **Aplicativo para cálculo de cargas de incêndio específicas.** Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Uberlândia. Minas Gerais, 2018. Disponível em:  
<<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/21983/3/AplicativoCalculoCargas.pdf>  
> Acesso em: abr. 2020.

MINAS GERAIS. **Decreto nº 44.746, de 29 de fevereiro de 2008. Regulamenta a Lei nº 14.130, de 19 de dezembro de 2001, que dispõe sobre a prevenção contra incêndio e pânico no Estado e dá outras providências.** Diário Oficial do Estado de Minas Gerais, Minas Gerais, 2008.

MOHAMAD, G.; MACHADO, D. W. N.; JANTSCH, A. C. A. **Alvenaria estrutural: construindo o conhecimento.** 1ªed. São Paulo: Blucher, 2017. Disponível em: Minha Biblioteca – ADX Doctum. Acesso em: out. 2019.

NADJAI, A. et al. **Compartment masonry walls in fire situations.** Fire Technology, v. 42, n. 3, p. 211-231, 2006.

POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO, C. de B. **Instrução Técnica n o 08/2011: resistência ao fogo dos elementos de construção.** São Paulo: Secretaria de Estado dos Negócios da Segurança Pública, 2011.

RABELO, A. C. N. **Dimensionamento de alvenaria estrutural segundo recomendações do Eurocode 6.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de "Mestre em Engenharia de Estruturas". Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2004.

RIGÃO, A. O. **Comportamento de pequenas paredes de alvenaria estrutural frente a altas temperaturas.** Dissertação apresentada ao curso de mestrado do programa de pós-graduação em engenharia civil. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2012.

ROSEMANN, F. **Resistência ao Fogo de Paredes de Alvenaria Estrutural de Blocos Cerâmicos pelo Critério de Isolamento Térmico.** Florianópolis, 2011. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

SALVIO, C. **Segurança contra incêndio e pânico em edificações comerciais.** Monografia – Universidade Candido Mendes. Rio de Janeiro, 2018.

SILVA, V. G.; ZOMPERO, A. F.; LABURU, C. E. **Utilização de materiais significativos sobre transferência de calor para alunos do ensino médio.** Artigo – Universidade Norte do Paraná. Paraná, 2014.



## GLOSSÁRIO

Monolitismo	Sistema de construção com grandes pedras, formado por um só bloco, um conjunto rígido.
Verga	Elemento estrutural colocado sobre os vãos de aberturas com a finalidade de transmitir as ações verticais para as paredes adjacentes
Contraverga	Elemento estrutural colocado sob os vãos de aberturas com a finalidade de absorver tensões de tração nos cantos.

### ANEXO - Cargas de incêndio específicas por ocupação (normativo)

Ocupação/Uso	Descrição	Divisão	Carga de incêndio (qt.) 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
Serviço de Hospedagem	Hotéis	B-1	500
	Motéis	B-1	500
	Apert-hotéis	B-2	300
Comercial varejista, Loja	Acougue	C-1	40
	Antiquidades	C-2	700
	Aparelhos domésticos	C-1	300
	Amarinhos	C-1	300
	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
	Drogarias (incluindo depósitos)	C-2	1000
	Ferragens	C-1	300
	Floricultura	C-1	80
	Galeria de quadros	C-1	200
	Livrarias	C-2	1000
	Lojas de departamento ou centro de compras (Shoppings)	C-2 / C-3	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	600
	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
	Serviços profissionais, pessoais e técnicos	Agências bancárias	D-2
Agências de correios		D-1	400
Centrais telefônicas		D-1	100
Cabeleireiros		D-1	200
Copiadora		D-1	400
Encademadoras		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

Fonte: IT 09 CBMMG (Minas Gerais, 2020).

Ocupação/Usos	Descrição	Divisão	Carga de incêndio (qt.) em MJ/m <sup>2</sup>
Educativa e cultura física	Academias de ginástica e similares	E-3	300
	Pré-escolas e similares	E-5	300
	Creches e similares	E-5	300
	Escolas em geral	E1/E2/E4/E6	300
Locais de reunião de público	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 B
	Igrejas e templos	F-2	200
	Museus	F-1	300
	Restaurantes	F-8	300
Serviços automotivos e assemelhados	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
Serviços de saúde e Institucionais	Asilos	H-2	350
	Clinicas e consultórios médicos ou odontológicos.	H-6	200
	Hospitais em geral	H-1/H-3	300
	Presídios e similares	H-5	100
	Quartéis e similares	H-4	450
Industrial	Aparelhos eletroeletrônicos, fotográficos, ópticos.	I-2	400
	Acessórios para automóveis	I-1	300
	Acetileno	I-2	700
	Alimentação	I-2	800
	Artigos de borracha, cortiça, couro, feltro, espuma.	I-2	600
	Artigos de argila, cerâmica ou porcelanas.	I-1	200
	Artigos de bijuteria	I-1	200
	Artigos de cera	I-2	1000
	Artigos de gesso	I-1	80
	Artigos de mármore	I-1	40
	Artigos de peles	I-2	500
	Artigos de plásticos em geral	I-2	1000
	Artigos de tabaco	I-1	200
	Artigos de vidro	I-1	80
	Automotiva e autopeças (exceto pintura)	I-1	300
	Automotiva e autopeças (pintura)	I-2	500
	Aviões	I-2	600
	Balanças	I-1	300
	Baterias	I-2	800
	Bebidas destilada	I-2	500
	Bebidas não alcoólicas	I-1	80
	Bicicletas	I-1	200
	Brinquedos	I-2	500
	Café (inclusive torrefação)	I-2	400
	Caixotes barris ou pallets de madeira	I-2	1000
	Calçados	I-2	600
	Carpintarias e marcenarias	I-2	800
	Cera de polimento	I-3	2000
	Cerâmica	I-1	200
	Cereais	I-3	1700
	Cervejarias	I-1	80
	Chapas de aglomerado ou compensado	I-1	300
	Chocolate	I-2	400
Cimento	I-1	40	

Fonte: IT 09 CBMMG (Minas Gerais, 2020).

Ocupação/Usos	Descrição	Divisão	Carga de incêndio (qf <sub>i</sub> ) em MJ/m <sup>2</sup>
Industrial	Cobertores, tapetes.	I-2	600
	Colas	I-2	800
	Colchões (exceto espuma)	I-2	500
	Condimentos, conservas.	I-1	40
	Confeitarias	I-2	400
	Congelados	I-2	800
	Couro sintético	I-2	1000
	Defumados	I-1	200
	Discos de música	I-2	600
	Doces	I-2	800
	Espumas	I-3	3000
	Farinhas	I-3	2000
	Feltros	I-2	600
	Fermentos	I-2	800
	Fiações	I-2	600
	Fibras sintéticas	I-1	300
	Fios elétricos	I-1	300
	Flores artificiais	I-1	300
	Fornos de secagem com grade de madeira	I-2	1000
	Forragem	I-3	2000
	Fundições de metal	I-1	40
	Galpões de secagem com grade de madeira	I-2	400
	Geladeiras	I-2	1000
	Gelatinas	I-2	800
	Gesso	I-1	80
	Gorduras comestíveis	I-2	1000
	Gráficas (empacotamento)	I-3	2000
	Gráficas (produção)	I-2	400
	Guarda-chuvas	I-1	300
	Instrumentos musicais	I-2	600
	Janelas e portas de madeira	I-2	800
	Jóias	I-1	200
	Laboratórios farmacêuticos	I-1	300
	Laboratórios químicos	I-2	500
	Lápis	I-2	600
	Lâmpadas	I-1	40
	Laticínios	I-1	200
	Malharias	I-1	300
	Máquinas de lavar de costura ou de escritório	I-1	300
	Massas alimentícias	I-2	1000
	Mastiques	I-2	1000
	Materiais sintéticos ou plásticos	I-3	2000
	Metalúrgica	I-1	200
	Montagens de automóveis	I-1	300
	Motocicletas	I-1	300
	Motores elétricos	I-1	300
	Móveis	I-2	600
	Óleos comestíveis	I-2	1000
	Padarias	I-2	1000
	Papéis (acabamento)	I-2	500
Papéis (preparo de celulose)	I-1	80	
Papéis (procedimento)	I-2	800	
Papelões betuminados	I-3	2000	
Papelões ondulados	I-2	800	
Pedras	I-1	40	
Perfumes	I-1	300	
Pneus	I-2	700	
Produtos adesivos	I-2	1000	
Produtos de adubo químico	I-1	200	
Produtos alimentícios (expedição)	I-2	1000	

Fonte: IT 09 CBMMG (Minas Gerais, 2020).

Ocupação/Usos	Descrição	Divisão	Carga de incêndio (qf) em MJ/m <sup>2</sup>
Industrial	Produtos com ácido acético	I-1	200
	Produtos com ácido carbônico	I-1	40
	Produtos com ácido inorgânico	I-1	80
	Produtos com albumina	I-3	2000
	Produtos com alcatrão	I-2	800
	Produtos com amido	I-3	2000
	Produtos com soda	I-1	40
	Produtos de limpeza	I-3	2000
	Produtos graxos	I-2	1000
	Produtos refratários	I-1	200
	Rações	I-3	2000
	Relógios	I-1	300
	Resinas	I-3	3000
	Roupas	I-2	500
	Sabões	I-1	300
	Sacos de papel	I-2	800
	Sacos de juta	I-2	500
	Sorvetes	I-1	80
	Sucos de fruta	I-1	200
	Tapetes	I-2	600
	Têxteis em geral	I-2	700
	Tintas e solventes	I-3	4000
	Tintas látex	I-2	800
	Tintas não-inflamáveis	I-1	200
	Transformadores	I-1	200
	Tratamento de madeira	I-3	3000
	Tratores	I-1	300
	Vagões	I-1	200
	Vassouras ou escovas	I-2	700
	Velas de cera	I-3	1300
Vidros ou espelhos	I-1	200	
Vinagres	I-1	80	
Demais usos	Demais atividades não enquadradas acima	Levantamento da carga de incêndio conforme Anexo B	

Fonte: IT 09 CBMMG (Minas Gerais, 2020).