

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Tainá Gelsdorf Carlos

**ALVENARIA ESTRUTURAL EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO – ANÁLISE
COM VISTAS À NORMALIZAÇÃO**

Santa Cruz do Sul

2020

Tainá Gelsdorf Carlos

**ALVENARIA ESTRUTURAL EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO – ANÁLISE
COM VISTAS À NORMALIZAÇÃO**

Trabalho de conclusão apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade de Santa Cruz do Sul para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. M.Sc. Eng. Marcus Daniel Friederich dos Santos

Santa Cruz do Sul

2020

RESUMO

O presente trabalho trata-se do estudo do sistema construtivo de alvenaria estrutural, com blocos cerâmicos, em situação de incêndio. A problemática surge a partir dos requisitos estabelecidos pela Norma de Desempenho, que prevê a segurança, sustentabilidade e habitabilidade das edificações, e a inexistência de normativa nacional para o dimensionamento da alvenaria estrutural em situação de incêndio.

Desenvolveu-se uma análise dos componentes do fogo e das fases e formas de propagação de um incêndio, bem como das propriedades dos blocos constituintes da alvenaria estrutural no Brasil. Além disso, foram verificadas as recomendações das normativas nacionais existentes.

De forma a subsidiar as discussões acerca da futura normativa brasileira, fez-se o estudo das normativas europeia e americana quanto ao dimensionamento da alvenaria estrutural em situação de incêndio. Verificou-se que as características do bloco, bem como do material de revestimento, influem na determinação da espessura final da parede, e os ensaios das paredes em escala real são realizados a partir da capacidade de carga dos blocos empregados nas mesmas.

Ensaio de paredes com blocos cerâmicos nacionais foram analisados, de forma a verificar parâmetros que possam influenciar no tempo de resistência ao fogo da alvenaria. Fez-se a comparação dos resultados de ensaios com e sem carregamento, verificando maiores deformações nas amostras sem carregamento, e um maior acréscimo de temperatura, na face não exposta, das amostras com carregamento. A presença de revestimento mostrou-se eficaz no aumento do tempo de resistência ao fogo, evitando também o lascamento explosivo. Ao final sugere-se que o comitê responsável pela elaboração da NBR 16.868 – 4 – Alvenaria estrutural em condição de incêndio faça a padronização do método de ensaio das paredes, de forma a tornar viável ao setor o seu desenvolvimento.

Palavras-chave: Alvenaria estrutural. Incêndio. Norma de Desempenho.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Triângulo do fogo	14
Figura 2 - Tetraedro do fogo.....	15
Figura 3 – Propagação do fogo por condução	17
Figura 4 – Propagação do fogo por convecção a partir da caixa de escadarias ou do elevador	18
Figura 5 – Propagação do fogo por convecção a partir de aberturas presentes na fachada.....	19
Figura 6 – Propagação do fogo por irradiação	20
Figura 7 – Curva da evolução de um incêndio	20
Figura 8 – Comparativo da curva padrão com um incêndio real.....	24
Figura 9 – Compartimentação horizontal	31
Figura 10 – Fachadas ortogonais	32
Figura 11 – Fachadas paralelas.....	33
Figura 12 – Formatos de blocos estruturais cerâmicos.....	45
Figura 13 – Bloco vazado de concreto simples	48
Figura 14 – Mísulas dos blocos de concreto	50
Figura 15 – Blocos modulares de 12,5cm maciços e furados ou perfurados	51
Figura 16 – Blocos modulares de 20cm vazados	52
Figura 17 – Amostras recém retiradas do forno	55
Figura 18 – Amostras dois dias após o ensaio.....	55
Figura 19 – Alvenaria de bloco de concreto com revestimento interno em argamassa	59
Figura 20 – Alvenaria de bloco de concreto com revestimento interno em gesso de 2,0cm ...	60
Figura 21 – Alvenaria de bloco de concreto com revestimento interno em gesso de 0,2cm ...	60
Figura 22 – Alvenaria de bloco de concreto sem revestimento interno	60
Figura 23 – Alvenaria de tijolo cerâmico com revestimento interno em argamassa.....	61
Figura 24 – Alvenaria de tijolo cerâmico com revestimento interno em gesso de 2cm.....	61
Figura 25 – Alvenaria de tijolo cerâmico com revestimento interno em gesso de 0,2cm.....	62
Figura 26 – Alvenaria de tijolo cerâmico sem revestimento interno.....	62
Figura 27 – Seção transversal de um pilar em alvenaria estrutural com ilustração das isothermas θ_1 e θ_2	73
Figura 28 – Deformação de simples curvatura.....	76
Figura 29 – Deformação de dupla curvatura	76
Figura 30 – Deslocamentos obtidos nas amostras COM carregamento	77

Figura 31 – Deslocamentos obtidos nas amostras SEM carregamento	78
Figura 32 – Lascamento generalizado da face exposta ao fogo da parede de 20cm	81
Figura 33 – Lascamento explosivo da face exposta ao fogo da parede de 19cm	82
Figura 34 – Aspecto da face exposta ao fogo depois e antes do ensaio	84
Figura 35 – Lascamento explosivo da parede de 20cm com carregamento de 130kN/m	85
Figura 36 – Face não exposta ao fogo após o término do ensaio	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Elevação da temperatura em função do tempo	22
Tabela 2 – Distância entre aberturas de acordo com a porcentagem de abertura da fachada ..	32
Tabela 3 – Classificação dos materiais exceto revestimento de piso	35
Tabela 4 – Classificação dos materiais que não podem ser classificados pela NBR 9442	36
Tabela 5 – Classe de materiais a serem utilizados considerando o uso da edificação e a finalidade do material	37
Tabela 6 – Dimensões dos blocos estruturais cerâmicos.....	45
Tabela 7 – Resistência mínima e absorção d'água de blocos e tijolos	46
Tabela 8 – Dimensões nominais dos blocos de concreto	49
Tabela 9 – Largura e espessura mínima das paredes dos blocos de acordo com sua classe	49
Tabela 10 – Resistência característica à compressão, absorção e retração dos blocos de acordo com sua classe	50
Tabela 11 – Classes dos blocos de sílico-calcário	52
Tabela 12 – Valores de resistência obtidos no ensaio da argamassa estrutural.....	54
Tabela 13 – Propriedades térmicas de materiais constituintes de paredes	58
Tabela 14 – Propriedades térmicas dos materiais construtivos utilizados nas paredes	59
Tabela 15 – Fator de multiplicação para materiais de acabamento em paredes de alvenaria cerâmica não expostas ao fogo	67
Tabela 16 – Tempo atribuído ao material de acabamento na parede de alvenaria exposta ao fogo.....	68
Tabela 17 – Resistência ao fogo de paredes de alvenaria.....	69
Tabela 18 - Espessura mínima para paredes carregadas de alvenaria cerâmica (critério REI)	72
Tabela 19 – Constituição das amostras de paredes em alvenaria estrutural	74
Tabela 20 – Temperatura das faces das amostras SEM carregamento.....	79
Tabela 21 – Resultado dos ensaios de resistência ao fogo das 6 amostras.....	80
Tabela 22 – Classificação das edificações de acordo com o seu uso	94
Tabela 23 – Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF).....	95
Tabela 24 – Resistência ao fogo de paredes de alvenaria.....	96
Tabela 25 – Ensaios de resistência ao fogo de paredes estruturais	97

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Curva de icêndio padrão.....	23
Gráfico 2 – Curva de incêndio padrão e curva de hidrocarbonetos.....	24
Gráfico 3 – Espessura X Tempo de resistência ao fogo de paredes sem carregamento.....	83

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Área e limitação do tema.....	12
1.2 Objetivo geral e específicos.....	12
1.2.1 Objetivo geral.....	12
1.2.2 Objetivos específicos.....	12
1.3 Justificativa	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 Origem do fogo e do incêndio	14
2.1.1 Triângulo e Tetraedro do fogo	14
2.1.2 Características dos elementos componentes do fogo.....	15
2.1.3 Propagação do fogo	16
2.1.3.1 Condução.....	17
2.1.3.2 Convecção.....	18
2.1.3.3 Irradiação	19
2.1.4 Fases do incêndio padrão	20
2.1.5 Curvas de incêndio	21
2.1.5.1 Curva de incêndio padrão.....	22
2.1.5.2 Curva de hidrocarbonetos	24
2.1.5.3 Curva paramétrica de incêndio.....	25
2.1.6 Classificação dos Incêndios.....	26
2.2 Recomendações de normativas nacionais.....	27
2.2.1 Resistência ao fogo dos componentes construtivos estruturais (NBR 5628:2001)...	27
2.2.2 Instruções Técnicas de São Paulo	29
2.2.2.1 Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF)	29
2.2.2.2 Compartimentação vertical e horizontal.....	30
2.2.2.3 Materiais de acabamento e revestimento	33
2.2.3 Desempenho dos sistemas verticais de vedação	38
2.2.3.1 Critérios de segurança para os SVVIE.....	38
2.2.3.2 Classificação das faces das paredes.....	39
2.3 Alvenaria Estrutural	39
2.3.1 Histórico da Alvenaria Estrutural	40

2.3.2 Alvenaria Estrutural em situação de incêndio.....	41
2.3.3 Comportamento dos materiais de construção frente ao fogo	42
2.3.4 Componentes da Alvenaria Estrutural.....	42
2.3.4.1 Blocos estruturais	43
2.3.4.1.1 Bloco cerâmico	43
2.3.4.1.2 Bloco de concreto	47
2.3.4.1.3 Bloco sílico-calcário	51
2.3.4.2 Argamassas de assentamento	53
2.3.4.3 Reboco de argamassa	56
2.3.4.4 Graute	57
2.3.4.5 Prisma	57
2.3.5 Propriedades térmicas.....	57
3 METODOLOGIA.....	63
3.1 Reunião ABNT.....	63
3.2 Estudo bibliográfico	63
3.3 Avaliação de resultados experimentais.....	64
4 RESULTADOS	66
4.1 Normativas Internacionais	66
4.1.1 Norma Americana - ACI/TMS 216.1-14:2014	66
4.1.1.1 Cálculo da espessura equivalente dos blocos cerâmicos	66
4.1.1.2 Cálculo da espessura equivalente dos materiais de acabamento	67
4.1.1.3 Resistência ao fogo das paredes de alvenaria.....	68
4.1.2 Métodos de ensaio padrão para ensaios de fogo em construções e materiais de construção - ASTM E 119:2014.....	69
4.1.3 Norma europeia - EUROCODE 6: EN 2005-1.2.....	70
4.1.3.1 – Avaliação por meio de ensaios em laboratório	71
4.1.3.2 – Avaliação pelo método tabular	71
4.1.3.3 – Avaliação por método de dimensionamento analítico simplificado.....	73
4.1.4 Projeto de pesquisa ITT Performance.....	74
4.1.5 Ensaios de paredes de alvenaria cerâmica com e sem carregamento.....	80
4.1.5.2 Ensaios de paredes sem carregamento	81
4.1.5.1 Ensaios de paredes com carregamento	83

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	87
REFERÊNCIAS	90
ANEXO A – Tabela	94
ANEXO B – Tabela	95
ANEXO C - Tabela.....	96

1 INTRODUÇÃO

No século passado, por meados da década de 70, ocorreram diversos incêndios no Brasil, motivando a aceleração do processo de criação de normas técnicas e revisões das normas já existentes sobre o assunto, sendo assim, é possível constatar que a normas brasileiras são bastante recentes nessa área (BRENTANO, 2015).

A entrada em vigor da Norma de Desempenho (NBR 15575:2013) em 2013 introduziu conceitos de vida útil no mercado brasileiro, os quais estão palpados na segurança, sustentabilidade e habitabilidade da edificação (INSTITUTO TECNOLÓGICO ITT PERFORMANCE, 2016). Sendo assim, a inexistência de normatizações brasileiras para a alvenaria estrutural em situação de incêndio gera preocupações com a segurança dos usuários e do patrimônio, uma vez que o emprego desse sistema construtivo se tornou bastante comum no Brasil.

O incêndio, de acordo com Costa e Silva (2006), corresponde à uma redução das propriedades mecânicas dos materiais, além de acrescentar cargas, antes inexistentes, as quais não foram previstas em projeto, tudo isso devido à elevação da temperatura. Sendo assim, as edificações necessitam oferecer em situação de incêndio, durante um tempo predeterminado, a segurança estrutural, mantendo a estabilidade da estrutura perante aos esforços solicitantes providos pela ação do fogo e do calor. Dessa forma, a edificação deve obedecer a parâmetros de desempenho de forma a evitar que os materiais de revestimento e acabamento propaguem ou contribuem para com o incêndio, evitar ou retardar a propagação do incêndio por meio das compartimentações verticais e horizontais e manter a estabilidade da estrutura por um determinado período, evitando o colapso da mesma (BRENTANO, 2015).

O reconhecimento do sistema de construção em Alvenaria Estrutural como uma solução eficiente economicamente é consequência das expressivas melhorias nos materiais de construção envolvidos, nos métodos de cálculo e nas técnicas de construção (PARSEKIAN, HAMID e DRYSDALE, 2012). Redução de resíduos gerados, economia de tempo e material são algumas características da construção em Alvenaria Estrutural (Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 2006), a qual permite uma considerável racionalização construtiva.

Apesar da existência das Instruções Técnicas de São Paulo, consideradas a melhor legislação de proteção contra incêndio do Brasil (BRENTANO, 2015), serem de grande contribuição para os projetos em situação de incêndio, a criação de uma norma técnica brasileira, de acordo com Brentano (2015), é indispensável, pois além de ser elaborada por técnicos especialistas na área, a mesma recomenda procedimentos, métodos de ensaio,

classificações, simbologias, especificações e terminologias, tornando-as mais completas e abrangentes.

1.1 Área e limitação do tema

O presente trabalho visa o estudo do sistema construtivo de Alvenaria Estrutural em situação de incêndio, com ênfase nos elementos verticais (paredes) constituídos de blocos cerâmicos e revestidos com argamassa de cimento e gesso.

1.2 Objetivo geral e específicos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é contribuir com as pesquisas e estudos em desenvolvimento para criação da Norma Técnica Brasileira para Edificações em Alvenaria Estrutural em situação de incêndio, aprofundando o estudo em elementos verticais com função de compartimentação constituídos de blocos cerâmicos.

1.2.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral, foram definidos os objetivos específicos apresentados abaixo:

- Realizar uma revisão metódica da literatura existente sobre Incêndio e o sistema construtivo de Alvenaria Estrutural;
- Estudar a resistência ao fogo das paredes de alvenaria estrutural quanto a critérios de estabilidade estrutural, estanqueidade e isolamento térmico, a partir de ensaios já realizados;
- Realizar um estudo das normativas internacionais que possam contribuir para o desenvolvimento da norma brasileira.

1.3 Justificativa

A construção civil está aliada à desenvolvimentos tecnológicos de forma a garantir a segurança e o conforto dos seus usuários, gerando o menor número de resíduos possível. Dessa forma, a construção civil no Brasil busca por sistemas racionalizados e de qualidade.

De acordo com a ABCP (2013), o Brasil é referência mundial em Alvenaria Estrutural, sendo esse sistema construtivo um dos mais empregados no país, devido aos avanços tecnológicos e os preços competitivos.

Visando a necessidade de suprir o déficit habitacional existente no Brasil, ocorreram diversos incentivos para aceleração do crescimento do mesmo, sendo assim, diversos edifícios habitacionais foram construídos em alvenaria estrutural (ITT PERFORMANCE, 2016).

Simultaneamente aos incentivos entrou em vigor a Norma de Desempenho 15575:2013, visando a segurança e o conforto das pessoas, a qual estabelece parâmetros à serem atendidos pelas edificações baseados na segurança, sustentabilidade e habitabilidade. A segurança contra incêndio está relacionada às condições de segurança para uso e operação da edificação, sendo assim, o conhecimento da reação dos materiais e sistemas construtivos constituintes da mesma se torna inevitável e indispensável (ITT PERFORMANCE, 2016).

De acordo com a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) (2013), os fundamentos essenciais para garantir a segurança contra incêndio de uma edificação baseiam-se em parâmetros de projeto, das propriedades existentes nos materiais e elementos da edificação, além de dispositivos de detecção e combate de incêndio.

Com o intuito de contribuir com a normalização nacional que está sendo desenvolvida, justifica-se o estudo do sistema de construção de Alvenaria Estrutural em situação de incêndio, uma vez que o Brasil carece de normativas nacionais, embasando-se somente nas Instruções Técnicas de São Paulo e outras normativas internacionais reconhecidas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste tópico serão esclarecidos parâmetros sobre alvenaria estrutural e o incêndio, além da explanação das normativas brasileiras vigentes sobre o tema.

2.1 Origem do fogo e do incêndio

2.1.1 Triângulo e Tetraedro do fogo

De acordo com Brentano (2015), o fogo é originado de uma reação química a qual libera calor, exotérmica, designada de combustão, que ocorre devido a rápida oxidação do material combustível presente no ambiente, sendo esse sólido ou líquido, com o oxigênio encontrado no ar, estimulado por uma fonte de calor, gerando chamas e emissão de fumaça, gases e outros resíduos. Para que ocorra o início do fogo é necessário a presença de três componentes essenciais: combustível, comburente e uma fonte de ignição, os quais formam o triângulo do fogo, conforme Figura 1 (BRENTANO, 2015).

Figura 1 - Triângulo do fogo



Fonte: Rigão, 2012.

Atualmente utiliza-se de uma definição mais moderna, onde há o acréscimo de mais um componente, a reação em cadeia (RIGÃO, 2012), pois, para que haja a propagação do fogo após seu início é necessário que parte do calor gerado mantenha a combustão de novas moléculas, as quais transformam energia química em calor, através dos seus radicais livres que transferem energia e decompõem outras moléculas formando uma reação em cadeia (BRENTANO, 2015), sendo assim, o triângulo do fogo foi substituído pelo tetraedro do fogo, conforme Figura 2.

A combustão dá origem a dois processos distintos, um térmico e outro de transformação de material, o primeiro trata-se da propagação no entorno do calor gerado por meio da condução, convecção e irradiação, já o segundo trata-se da reação em cadeia, responsável pela manutenção do aquecimento dos combustíveis e comburentes presentes, assegurando a continuidade da combustão (BRENTANO, 2015).

Figura 2 - Tetraedro do fogo



Fonte: Rigão, 2012.

O fogo e o incêndio se diferem, pois, o primeiro ocorre quando há o controle de pelo menos um dos três componentes do triângulo do fogo, ou seja, a reação em cadeia é controlada, já o incêndio ocorre quando não há o controle de nenhum dos elementos envolvidos. (BRENTANO, 2015). Os métodos existentes para o extermínio do fogo visam neutralizar ou extinguir um dos componentes do tetraedro do fogo (IT 02, 2018).

O fenômeno da combustão gera produtos que por sua vez acarretam consequências para os indivíduos presentes e para a própria edificação, sendo eles: as chamas; a fumaça, a qual dificulta a visibilidade, provoca pânico e asfixia ou intoxica; os gases, responsáveis por mais de 80% dos casos de mortes em incêndios, além de promoverem a propagação do fogo; o calor, responsável pelas altas temperaturas alcançadas, além de deformar e gerar a perda de resistência de alguns materiais; o oxigênio e os resíduos (BRENTANO, 2015).

2.1.2 Características dos elementos componentes do fogo

O combustível é um elemento que pode se apresentar em forma sólida, líquida ou gasosa, e se submetido a condições específicas é capaz de gerar fogo (QUALY TESTE, 2016) e

continuar queimando sem nenhum acréscimo de calor (BRENTANO, 2015). Para que um combustível sólido entre em combustão é necessário que o mesmo seja aquecido para que libere vapores combustíveis, que misturados com o oxigênio tornam-se uma mistura inflamável, sendo assim, a presença de qualquer fonte de calor é capaz de acionar a combustão. Os combustíveis líquidos entram em combustão da mesma forma, porém, aos serem aquecidos os mesmos evaporam e misturam-se ao oxigênio. Já os gases possuem maior facilidade em iniciar a combustão, devido a maior liberdade de movimento das suas moléculas, não sendo necessário sua vaporização, os mesmos reagem com o oxigênio do ar ao encontrá-lo em concentrações predeterminadas (BRENTANO, 2015).

O comburente é o componente que ativa e mantém a combustão (BRENTANO, 2015). O oxigênio é o comburente mais comum, o que o torna o mais perigoso (QUALY TESTE, 2016), sendo assim, locais que possuem uma maior circulação de ar, são mais ricos em oxigênio e em caso de um incêndio, as chamas são bastante intensificadas. O oxigênio presente no ar atmosférico a uma concentração de 21% combinado à vapores e gases resulta em uma mistura inflamável, porém, quando a concentração de oxigênio cai abaixo de 14% grande parte dos materiais combustíveis não mantém mais suas chamas (BRENTANO, 2015).

A fonte de ignição, conhecida como calor, é a responsável pelo início do fogo, uma vez que se houver a presença de um combustível junto a um comburente nada ocorre sem a fonte de calor (QUALY TESTE, 2016). O calor pode provir de uma faísca elétrica, do superaquecimento de alguma superfície, como condutores e aparelhos elétricos, de uma explosão, entre outros (BRENTANO, 2015).

A reação em cadeia é denominada como a continua transferência de calor das moléculas dos materiais já em fase de combustão para àquelas ainda intactas, as quais sofrem acréscimo de temperatura e, também, entram em combustão, sendo esse ciclo consecutivo até que todo o combustível presente esteja reagindo (BRENTANO, 2015).

2.1.3 Propagação do fogo

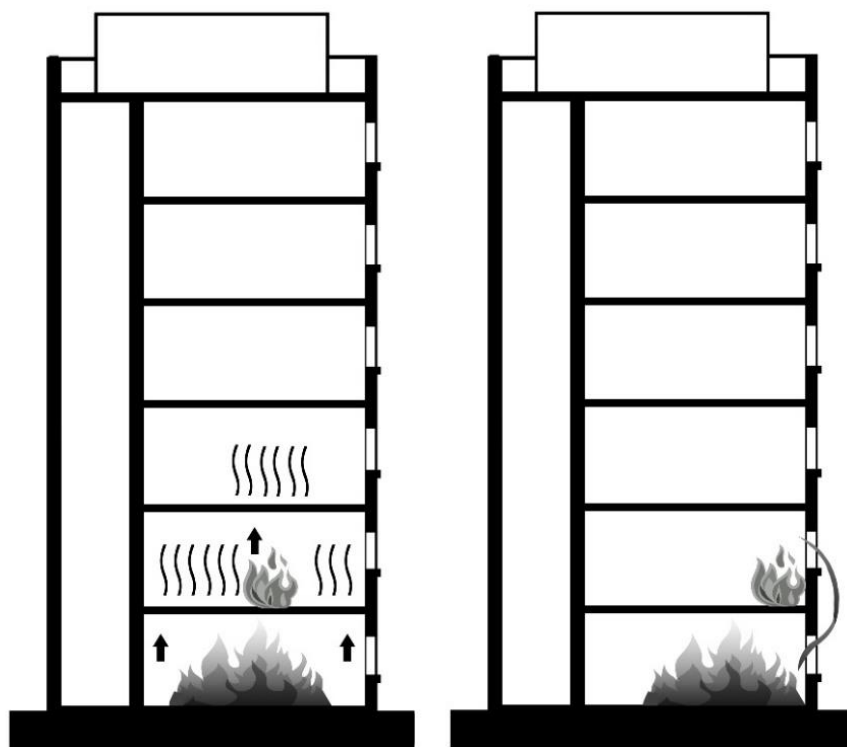
De acordo com a Instrução Técnica nº 2 de São Paulo (IT 02, 2018), a probabilidade de um incêndio se extinguir ou, ainda, evoluir para um incêndio de maiores proporções depende basicamente de cinco fatores, sendo eles: a quantidade do material combustível presente, bem como seu espaçamento e volume; a proporção e locação da fonte de ignição; a localização e o tamanho das áreas de ventilação; a velocidade e direção do vento; e o formato e as dimensões do ambiente onde o fogo se iniciou.

A propagação do fogo ocorre conforme as transferências de calor, que podem acontecer de três formas distintas, sendo elas: a condução, a convecção e a irradiação. Em um incêndio, geralmente pode-se observar a ocorrência das três propagações de forma simultânea, porém, às vezes, pode-se observar a prevalência de uma sobre as outras (BRENTANO, 2015).

2.1.3.1 Condução

A transferência de calor por condução ocorre a partir do contato entre as duas superfícies em questão, onde o corpo com maior temperatura cede energia para o de menor (OLIVEIRA, 2017). Essa transmissão pode ocorrer pelo contato direto das labaredas, como no caso de *shafts*, escadas, dutos de ar condicionado e outras aberturas que possibilitem a passagem e, conseqüente, a inflamação de outros materiais combustíveis encontrados nos ambientes adjacentes. A transmissão pode ocorrer, também, através das aberturas nas fachadas, possibilitando o alcance aos edifícios vizinhos ou a partir de um meio físico, quando há o contato das chamas, da fumaça, dos gases ou do calor com aberturas existentes em paredes e lajes, conforme Figura 3 (BRENTANO, 2015).

Figura 3 – Propagação do fogo por condução



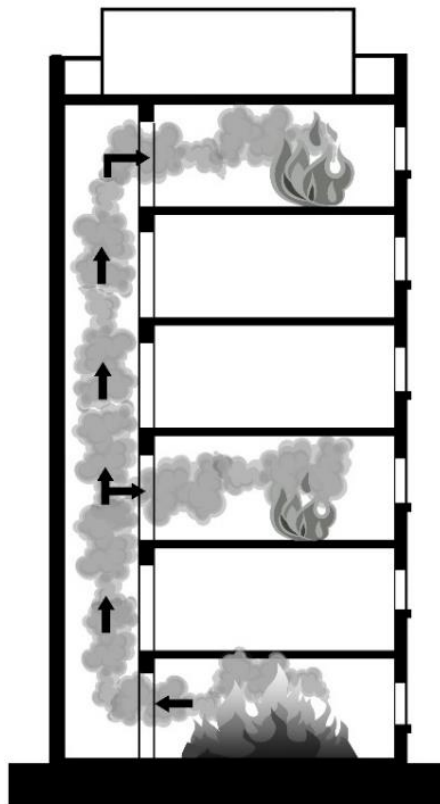
Fonte: adaptado de Brentano, 2015.

2.1.3.2 Convecção

A convecção é um fenômeno que ocorre somente com gases e líquidos, pois se trata da movimentação dos fluídos devido as diferenças de densidade entre eles. De acordo com Oliveira (2017), quando há o aquecimento do ar, o mesmo dilata, e conseqüentemente, aumenta o seu volume, o que gera a diminuição da sua densidade, sendo assim, o ar quente tende a subir, enquanto o ar frio desce. A convecção permite que a fumaça, os gases, os vapores e o ar aquecido, gerados pelo fogo, entrem em contato com outros materiais inflamáveis e os aqueçam até que atinjam seu ponto de combustão (OLIVEIRA, 2017).

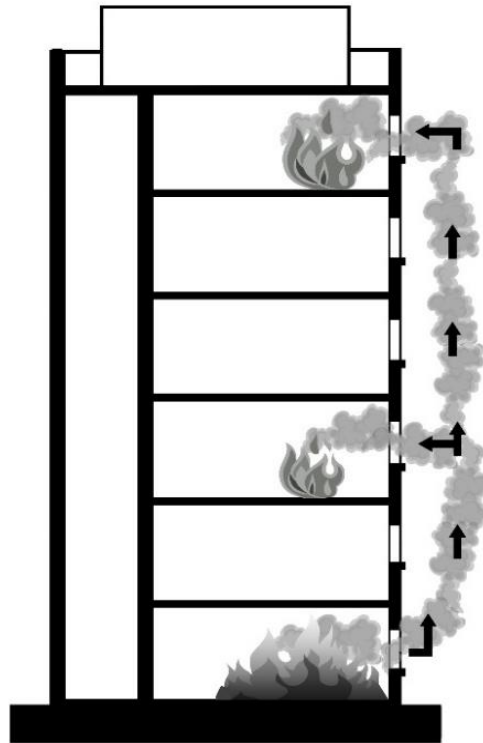
A Figura 4 exemplifica a dissipação do ar quente através da caixa de escadarias ou do elevador, já a Figura 5 representa o ar quente subindo e alcançado outros pavimentos a partir das aberturas presentes na fachada.

Figura 4 – Propagação do fogo por convecção a partir da caixa de escadarias ou do elevador



Fonte: adaptado de Brentano, 2015.

Figura 5 – Propagação do fogo por convecção a partir de aberturas presentes na fachada



Fonte: adaptado de Brentano, 2015.

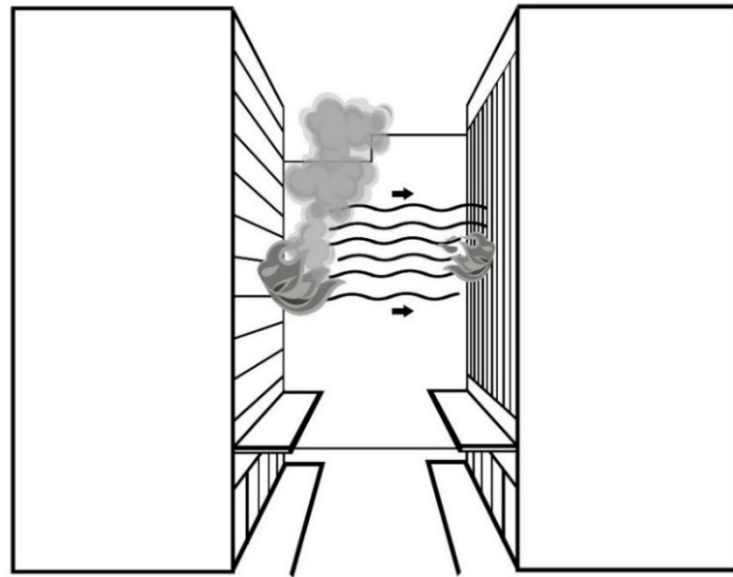
Esse fenômeno permite a rápida circulação do ar, o qual permeia quaisquer fissuras e aberturas presentes nos ambientes, bem como edificações vizinhas, por isso a compartimentação vertical e horizontal são tão importantes (BRENTANO, 2015).

2.1.3.3 Irradiação

A irradiação é a transferência do calor por meio de ondas eletromagnéticas, a qual pode ser verificada no vácuo e sem presença de matéria, porém necessita de um meio material para a ocorrência da troca de energia, uma vez que as ondas de calor provêm de um corpo aquecido, o qual as emite para todas as direções, aquecendo forros, paredes e, até mesmo, as edificações vizinhas (BRENTANO, 2015), conforme ilustrado pela Figura 6.

A compartimentação mostra-se de vital importância para a delimitação do volume de carga térmica no ambiente, uma vez que, além do tamanho das aberturas nas fachadas delimitarem o alcance do calor e do fogo (BRENTANO, 2015), a carga térmica delimita o poder calorífico.

Figura 6 – Propagação do fogo por irradiação

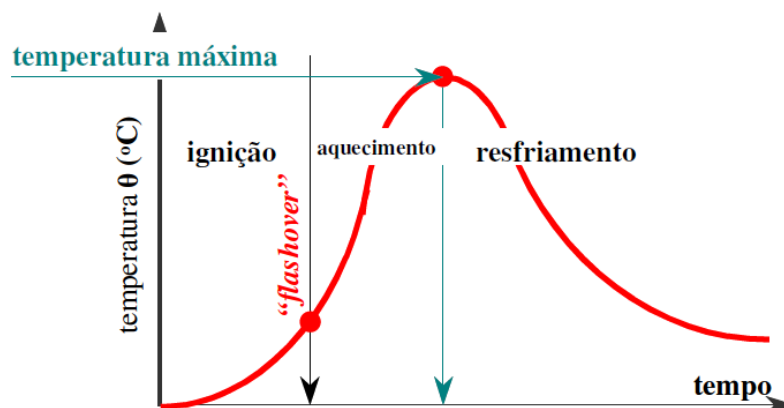


Fonte: adaptado de Brentano, 2015.

2.1.4 Fases do incêndio padrão

O desenvolvimento de um incêndio genérico pode ser representado por meio de curvas que consideram o aumento de temperatura de acordo com o tempo de exposição, chamadas de curvas de temperatura-tempo, conforme Figura 7, as quais sofrem variações na sua forma devido ao tempo de duração de cada fase, o qual depende dos tipos, formas e quantidades de materiais combustíveis no ambiente (BRENTANO, 2015). Essas curvas permitem a estimativa das temperaturas alcançadas pelos gases no ambiente em situação de incêndio (COSTA e SILVA, 2006).

Figura 7 – Curva da evolução de um incêndio



Fonte: Costa e Silva, 2006.

Sendo assim, o incêndio real é composto por três fases, as quais compõem o ciclo característico de evolução de um incêndio, sendo elas: ignição, fase de aquecimento e fase de resfriamento (IT 02, 2018).

A ignição corresponde ao início da inflamação, quando as características do compartimento ainda não estão influenciando, é a fase antes do *flashover*, conhecido como inflamação generalizada, a qual não acarreta riscos a vida humana e ao patrimônio (PURKISS 1996, citado por COSTA e SILVA, 2006). Nesta fase ocorre a elevação da temperatura do ambiente e dos materiais combustíveis por meio da condução, convecção e irradiação, podendo acarretar a ignição total do ambiente, sendo assim, a presença de proteção ativa, extintores e hidrantes por exemplo, são fundamentais para o combate ao fogo por meio da intervenção humana (BRENTANO, 2015).

A fase de aquecimento é caracterizada pelo crescimento abrupto de temperatura, que corresponde ao momento em que o *flashover* ocorre, entre 300°C e 650°C, e representa o momento em que todo o combustível existente no ambiente está em combustão (WALTON E THOMAS, 1995 citado por COSTA e SILVA, 2006). Definida como a fase de maior severidade do fogo, o risco de propagação vai depender das medidas passivas existentes, compartimentações verticais e horizontais por exemplo (BRENTANO, 2015).

Por fim, a fase de resfriamento corresponde ao momento em que todo o material combustível foi extinto (PURKISS 1996, citado por COSTA e SILVA, 2006), sendo assim, o fogo e a temperatura diminuem sucessivamente (BRENTANO, 2015).

No caso de incêndios compartimentados, a temperatura dos gases pode alcançar e ultrapassar 1000°C (PURKISS 1996, citado por COSTA e SILVA, 2006).

2.1.5 Curvas de incêndio

As curvas de incêndio servem para simular os efeitos da ação térmica de um incêndio, de forma a associar o ganho de temperatura com o tempo de exposição, a partir de modelos matemáticos, avaliando a temperatura máxima que os gases quentes podem alcançar dentro do ambiente em chamas (COSTA e SILVA, 2006).

A curva-padrão é utilizada quando o combustível envolvido é de base celulósica, quando há a presença de hidrocarbonetos, o incêndio tende a ser de maior intensidade, nesse caso utiliza-se a curva de hidrocarbonetos, conhecida como curva “H” (KAEFER e SILVA, 2003).

De acordo com Melão e Silva (2014) a curva de incêndio padrão determinada pela NBR 5628:2001, com a relação temperatura-tempo, não demonstra resultados reais se comparada

com as curvas parametrizadas presentes no Eurocode 1 (2002), uma vez que essas últimas consideram o grau de ventilação, a carga de incêndio e características dos materiais das vedações do compartimento, diferenciando, ainda, os incêndios controlados por combustível e por ventilação.

2.1.5.1 Curva de incêndio padrão

As normas vigentes no Brasil determinam a resistência ao fogo dos materiais a partir da curva padronizada pela ISO 834:1994, conhecida como curva de incêndio padrão. A curva padrão é definida pela seguinte expressão matemática, conforme a NBR 5628:2001:

$$T - T_0 = 345 \cdot \log_{10}(8t + 1) \quad (1)$$

Onde:

t = tempo em minutos a contar do início do ensaio;

T = temperatura do forno em °C no instante “t”;

T₀ = temperatura inicial do forno em °C.

Sendo:

$$10 \text{ °C} \leq T_0 \leq 40 \text{ °C} \quad (2)$$

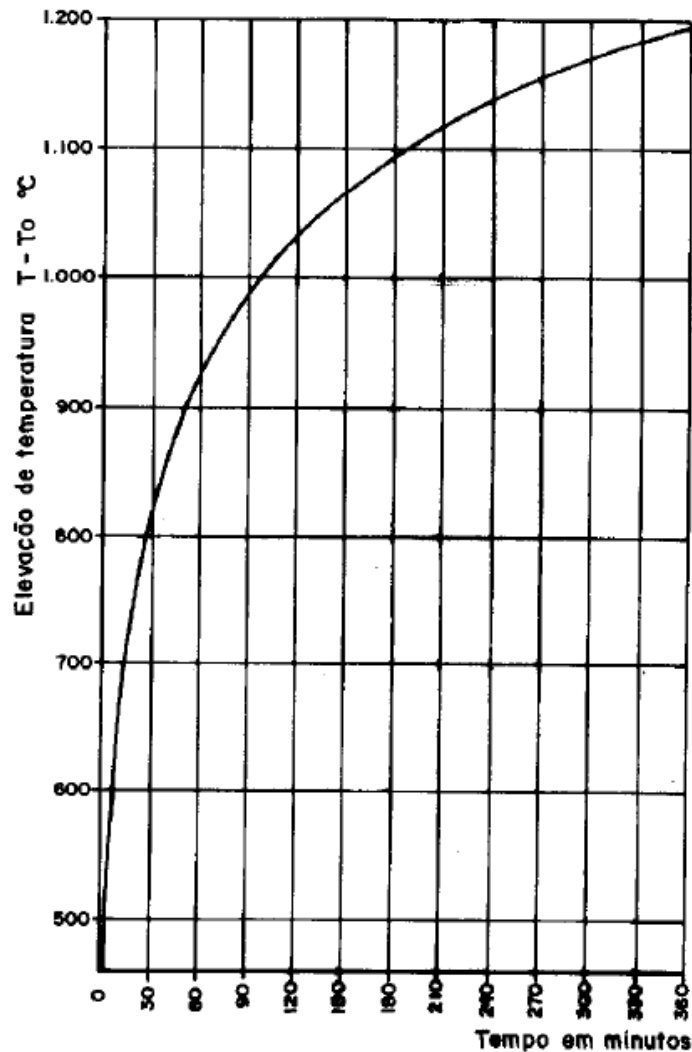
A Tabela 1 e o Gráfico 1 abaixo demonstram os valores definidos pela NBR5628:2001 e o comportamento da curva de incêndio padrão.

Tabela 1 – Elevação da temperatura em função do tempo

t (min)	T - T₀ (C°)
5	556
10	659
15	718
30	821
60	925
90	986
120	1029
180	1090
240	1133
360	1193

Fonte: adaptado NBR 5628:2001.

Gráfico 1 – Curva de incêndio padrão

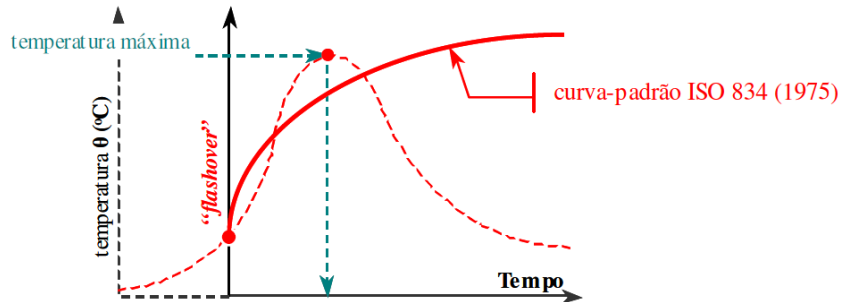


Fonte: NBR 5628:2001.

De acordo com Costa e Silva (2006) as curvas padrão de incêndio caracterizam-se por deter somente a parte ascendente, ou seja, apresentam somente o crescimento da temperatura em relação ao tempo, sem considerar a influência da carga de incêndio, da ventilação e das propriedades térmicas dos materiais que compõem a compartimentação. A Figura 8 compara a curva de incêndio padrão com a de um incêndio real.

As curvas padrão não representam uma situação real de incêndio, mas são facilitadoras quando da necessidade de determinar a resistência ao fogo de elementos construtivos a partir de ensaios em série (COSTA e SILVA, 2006), servindo como comparação, uma vez que se verifica a severidade do fogo que a estrutura pode resistir (KAEFER e SILVA, 2003).

Figura 8 – Comparativo da curva padrão com um incêndio real



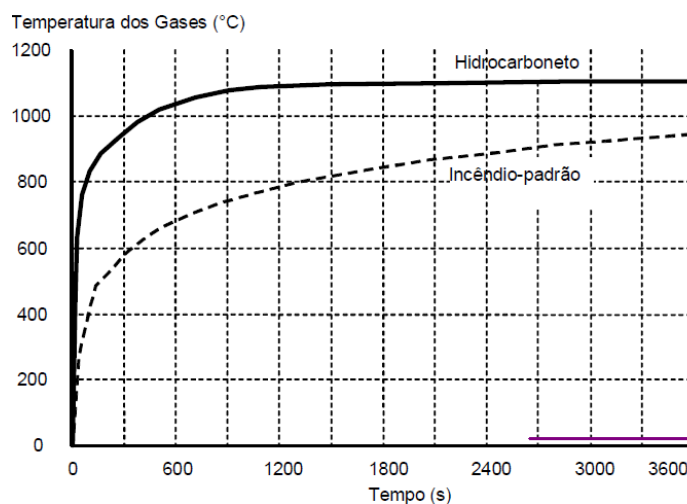
Fonte: Costa e Silva, 2006.

2.1.5.2 Curva de hidrocarbonetos

A curva de hidrocarbonetos é utilizada para projetos de locais onde a carga de incêndio é composta por hidrocarbonetos como, por exemplo, petróleo, gás natural, plásticos, solventes e óleos derivados (COSTA e SILVA, 2006).

As principais diferenças entre um incêndio causado por materiais celulósicos e aquele causado por materiais compostos por hidrocarbonetos é a taxa de aquecimento e o fluxo de calor liberado durante a queima. No caso dos hidrocarbonetos, a temperatura pode alcançar 1100°C em 5 minutos de incêndio, com um fluxo de calor de 200kW/m², diferente dos materiais celulósicos, que alcançam 880°C somente após 40 minutos de exposição ao incêndio e possuem um fluxo de 100kW/m² (WARD ET AL., 1996, citado por COSTA e SILVA, 2006). O gráfico 2 apresenta a curva de incêndio padrão comparada a curva de hidrocarbonetos.

Gráfico 2 – Curva de incêndio padrão e curva de hidrocarbonetos



Fonte: Kaefer e Silva, 2003.

2.1.5.3 Curva paramétrica de incêndio

A equação paramétrica de incêndio trata-se de uma forma mais precisa de determinar a temperatura dos gases em caso de incêndio, a mesma considera um modelo de incêndio natural compartimentado, o qual considera como parâmetros fatores que causam, diretamente, o aumento da temperatura dos gases. A expressão permite uma modelagem, de forma simplificada, das temperaturas na fase de aquecimento, resfriamento e no momento em que a máxima temperatura fora alcançada (KAEFER e SILVA, 2003).

De acordo com Kaefer e Silva (2003) a utilização da equação requer que parâmetros como densidade, calor específico e condutividade térmica dos materiais empregados como revestimento sejam conhecidos, além de características do ambiente como a carga de incêndio, quantidade de combustível disponível, e as áreas de ventilação existentes.

O tempo em que ocorre a máxima temperatura dos gases dentro do compartimento em situação de incêndio é obtido pela equação 3, a qual considera a carga de incêndio do ambiente, o grau de ventilação, a altura total e a medida média das aberturas verticais nas paredes, a área total do compartimento, incluindo-se teto, piso e paredes, e o tempo de incêndio, determinado pela velocidade que o mesmo se desenvolve (MELÃO e SILVA, 2014).

$$t_{\text{máx}} = 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d} / O \geq t_{\text{lim}} \quad (3)$$

Onde:

$q_{t,d}$ = carga de incêndio específica relacionada a área total do compartimento, calculada pela equação 03;

O = grau de ventilação, calculado pela equação 04;

t_{lim} = tempo-limite mínimo, determinado pela velocidade de desenvolvimento do incêndio:

- Lento = 25 min (espaço público);
- Médio = 20 min (residência, hospital, hotel, etc.)
- Rápido = 15 min (biblioteca, shopping, cinema, etc.)

$$q_{t,d} = q_{f,d} \cdot A_f / A_t, \text{ com } 50 \leq q_{t,d} \leq 1000 \text{ (MJ/m}^2\text{)} \quad (4)$$

Onde:

$q_{f,d}$ = carga de incêndio específica relacionada à área de piso do compartimento;

A_t = área total do compartimento (teto, piso e paredes)(m²);

A_f = área de piso do compartimento (m²).

$$O = A_v \cdot \sqrt{Heq} / A_t, \text{ com } 0,02 \leq O \leq 0,2 \text{ (m}^{1/2}\text{)} \quad (5)$$

Onde:

A_v = área total de aberturas verticais nas paredes (m^2);

h_{eq} = altura média das aberturas (m^2).

De acordo com Melão e Silva (2014), quando o tempo da temperatura máxima dos gases for igual ao tempo-limite significa que o combustível é quem está controlando o incêndio, caso ela seja maior que o tempo-limite, a ventilação é a responsável pela manutenção do incêndio.

Valores de temperatura dos gases no ramo ascendente, fase de aquecimento, e ramo descendente, fase de resfriamento, também são calculados a partir das equações paramétricas, o primeiro leva em conta se o incêndio é controlado pela ventilação ou pelo combustível, e o segundo considera a temperatura máxima dos gases, sendo esse simplificado por uma reta (MELÃO e SILVA, 2014).

2.1.6 Classificação dos Incêndios

Os incêndios são classificados de acordo com o material combustível e subdivididos em cinco classes: A, B, C, D e K (BRENTANO, 2015), de forma a racionalizar as medidas de segurança a serem adotadas (CREDER, 2006).

A classe A abrange os incêndios causados por materiais combustíveis banais como, por exemplo, madeiras, plásticos, papéis e tecidos, os quais tem a característica de queimar em superfície e profundidade e, devido ao seu volume considerável, costumam deixar resíduos após a queima. Utiliza-se, basicamente, a água para sua extinção, a qual se dá pelo resfriamento dos materiais, sendo esse método o mais efetivo. Como ação secundária pode-se utilizar o método de abafamento (BRENTANO, 2015).

A classe B envolve incêndios causados por líquidos combustíveis inflamáveis como o petróleo, a gasolina, a querosene, tintas e vernizes, que são óleos minerais, álcoois, acetona e óleo de linhaça, que são óleos vegetais, e banha de peixe, que é um óleo animal (CREDER, 2006), além de gases inflamáveis como gás liquefeito de petróleo (GLP) e gás natural. Os óleos e gases tem como característica queimar somente em superfície e não deixar resíduos. Utiliza-se como forma de extinção a remoção do material combustível, de forma a quebrar a reação em cadeia, ou por abafamento, sendo a espuma mecânica o melhor agente extintor (BRENTANO, 2015).

A classe C abrange incêndios causados por equipamentos elétricos energizados como motores, transformadores e reatores (CREDER, 2006). Utiliza-se para seu extermínio agentes

extintores que não conduzam eletricidade como, por exemplo, pó químico seco, líquidos vaporizantes e gases (BRENTANO, 2015).

A classe D envolve incêndios causados por materiais pirofóricos (metais combustíveis) como, por exemplo, o titânio, o alumínio, o magnésio e o zircônio, os quais possuem a característica de queimarem mais rapidamente e atingirem maiores temperaturas, se comparado a outros materiais combustíveis. Para o combate a esses incêndios, utiliza-se equipamentos, técnicas e agentes extintores conforme o metal combustível, de forma a isolá-lo do oxigênio atmosférico (BRENTANO, 2015).

A classe K, por fim, envolve os incêndios causados por óleos presentes em cozinhas comerciais e industriais como, por exemplo, óleos de fritura e gorduras animais. Utiliza-se para seu extermínio agentes extintores que causem o abafamento como o pó químico (BRENTANO, 2015).

De acordo com Creder (2006) as edificações também recebem uma classificação quanto ao risco de incêndio, sendo elas enquadradas como:

- Classe I: risco pequeno
- Classe II: risco médio
- Classe III: risco grande

Na classe I estão, por exemplo, as edificações residenciais, as escolas e os escritórios, a classe II enquadra oficinas, fábricas e armazéns, e a classe III são os depósitos de combustíveis, munições e refinarias de petróleo.

2.2 Recomendações de normativas nacionais

2.2.1 Resistência ao fogo dos componentes construtivos estruturais (NBR 5628:2001)

A NBR 5628:2001 determina os métodos de ensaio necessários para definir a resistência ao fogo dos componentes de uma edificação, abrangendo paredes estruturais, pilares, lajes e vigas. A mesma define a curva de incêndio padrão, proveniente da ISO 834:1994, como programa térmico a ser adotado no procedimento de ensaio, de forma a comparar a curva de temperatura obtida durante o ensaio com a curva padrão, devendo essas se compatibilizarem sensivelmente. As tolerâncias para as diferenças encontradas entre as curvas, de acordo com a norma, são:

- Primeiros 10 minutos: $\pm 15\%$

- Primeiros 30 minutos: $\pm 10\%$
- Após os 30 minutos: $\pm 5\%$

Observa-se, ainda, que durante os primeiros 10 minutos de ensaio, a diferença de temperatura entre as duas curvas não deve ultrapassar 100°C .

Deve-se empregar para o ensaio, de acordo com a norma, amostras com dimensões reais de utilização, preferencialmente. No caso de paredes estruturais, quando por algum motivo não é praticável o uso das dimensões reais, pode-se utilizar uma amostra com dimensões mínimas de 2,5m de largura por 2,5m de comprimento, respeitando a espessura real da parede.

A NBR 5628:2001 também determina como condição para o ensaio que todos os tipos de juntas, sistemas de fixação e apoio, vínculos e acabamentos previstos sejam incluídos na amostra, além disso, o teor de umidade da amostra deve ser o mais próximo possível do previsto conforme as condições de uso. Elementos portantes devem ser ensaiados com sua carga de utilização aplicada, de forma constante.

Para a medição da temperatura são utilizados termopares espaçados de forma simétrica, no mínimo 1 termopar a cada $1,5\text{m}^2$ da área exposta da amostra. Com a temperatura obtida pelos mesmos faz-se a média aritmética dos valores de forma a definir a temperatura média do forno. A norma ainda prevê ensaios para determinação da capacidade de estanqueidade, isolamento térmico e resistência mecânica.

Para a determinação da estanqueidade, os gases presentes na amostra devem possuir uma pressão maior que a atmosférica. Coloca-se um amontoado de algodão, com dimensões de $100 \times 100\text{mm}$ e espessura de 20mm, sem nenhum tipo de resíduo, a uma distância mínima de 30mm da amostra, fixando-o com grampos de arame e um bastidor. Deve-se manter o algodão na posição por cerca de 10 segundos, em curtos intervalos de tempo, de forma a verificar se houve a sua inflamação a partir dos gases presentes.

O isolamento térmico é verificado a partir das temperaturas medidas por no mínimo 5 termopares situados na face não exposta, sendo um posicionado ao centro da face e os outros quatro no centro das áreas resultantes da divisão da amostra em parte iguais. Os valores de temperatura devem ser anotados a cada 5 minutos, no caso de elementos estruturais com função de vedação e a mesma não deve apresentar um aumento, na face não exposta, acima da temperatura inicial, superior em média a 140°C e em qualquer ponto a 180° .

Por sua vez, a resistência mecânica é verificada a partir dos registros de deslocamentos transversais ou outra deformação que possa acarretar diminuição da resistência ou grandes deformações ou, até mesmo, pela ruína da amostra.

O ensaio deve prosseguir até que ocorra a falha de algum dos requisitos exigidos para a amostra. Caso não ocorra a falha de elementos estruturais durante o ensaio de resistência mecânica, deve-se retirar a carga da amostra, esperar a mesma esfriar, e, depois de 24 horas reaplicar a carga na mesma, agora em temperatura ambiente. Caso ocorra a ruína da amostra, considera-se 80% do tempo de aquecimento como resistência mecânica da mesma, caso contrário considera-se o tempo de aquecimento na sua totalidade.

Segundo a NBR 5628:2001, os resultados obtidos nos ensaios acima descritos devem ser registrados em minutos, desde o início do ensaio até o momento em que a amostra deixa de atender ao requisito em questão.

2.2.2 Instruções Técnicas de São Paulo

O Estado de São Paulo detém a melhor legislação de proteção contra incêndios do país atualmente, seu histórico de regulamentos possui mais de 50 anos, sendo os mesmos atualizados ao longo da sua vida (BRENTANO, 2015). As Instruções Técnicas de São Paulo classificam as edificações em grupos de acordo com o seu uso, a partir do Decreto nº 56.819 (2011), que institui o Regulamento de Segurança para o Estado de São Paulo.

A tabela 21 no Anexo A demonstra parte da classificação utilizada pelo decreto, o qual determina o grupo a partir da ocupação, exemplificando casos para facilitar a classificação.

2.2.2.1 Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF)

As edificações devem possuir um Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF), o qual depende da sua classificação, seu grupo e sua ocupação, e da sua altura. Para que o TRRF seja atendido, os materiais utilizados na estrutura e nas compartimentações devem estar de acordo com os valores exigidos (CBIC, 2013).

O Tempo de Resistência ao Fogo é definido pela Instrução Técnica nº 08 de São Paulo (IT 08, 2018), como o período de tempo necessário para que os elementos estruturais atinjam a máxima temperatura de projeto, considerando um incêndio-padrão.

A IT 08, 2018 tem como objetivo definir o TRRF dos elementos estruturais e de compartimentação de uma edificação, bem como definir as condições que devem ser atendidas

por esses elementos, de forma a evitar o colapso da estrutura por tempo suficiente para que haja o total esvaziamento da edificação e a entrada do Corpo de Bombeiros para a execução das suas operações. A norma ainda prevê a utilização do Eurocode como normativa para o dimensionamento de estruturas em situação de incêndio na circunstância de não haver norma brasileira.

Os TRRF definidos na Instrução Técnica devem ser comprovados a partir de ensaios específicos de resistência ao fogo, atendendo a tabelas previamente elaboradas a partir do resultado de ensaios executados, ou, ainda, no caso de elementos estruturais, modelos matemáticos analíticos, normatizados ou nacionalmente conhecidos. Os ensaios são normalmente executados em fornos verticais ou horizontais, utilizando-se a curva padronizada pela norma ISO 834:1994 para o aumento de temperatura, a qual é obtida a partir dos termopares instalados nas faces da parede, tanto à submetida ao fogo quanto à oposta. A classificação da estrutura quanto sua resistência ao fogo é feita a partir dos critérios de estanqueidade, isolamento térmico e estabilidade (CBIC, 2013).

A Instrução Técnica nº 08 (2018) determina, a partir da Tabela 23 no Anexo B, os tempos requeridos de resistência ao fogo de acordo com o uso da edificação e sua altura.

A instrução ainda prevê a resistência ao fogo requerida para as alvenarias, porém abrange somente quatro tipos de paredes, sendo elas: parede de tijolos de barro cozidos, parede de blocos vazados de concreto de 2 furos, paredes de tijolos cerâmicos de 8 furos e paredes de concreto armado monolítico, sendo essas paredes consideradas com e sem revestimento, e utilizando meio tijolo/bloco ou tijolo/bloco inteiro, conforme Tabela 24 no Anexo C. As paredes estruturais, as quais suportam cargas verticais, não são abrangidas pela IT 08 (2018), a qual sugere que se utilize o Eurocode ou outras normativas aprovadas.

A tabela de TRRF é proveniente da NBR 14432:2001, porém com alterações produzidas pela IT 08 (2018). A instrução técnica acrescentou novas classes e grupos a sua normativa, uma vez que a NBR 14432:2001 classificava as edificações até a classe P5, abrangendo àquelas com alturas superiores a 30 metros. Além disso, a norma previa valores somente até o grupo “J”, referente ao depósito.

2.2.2.2 Compartimentação vertical e horizontal

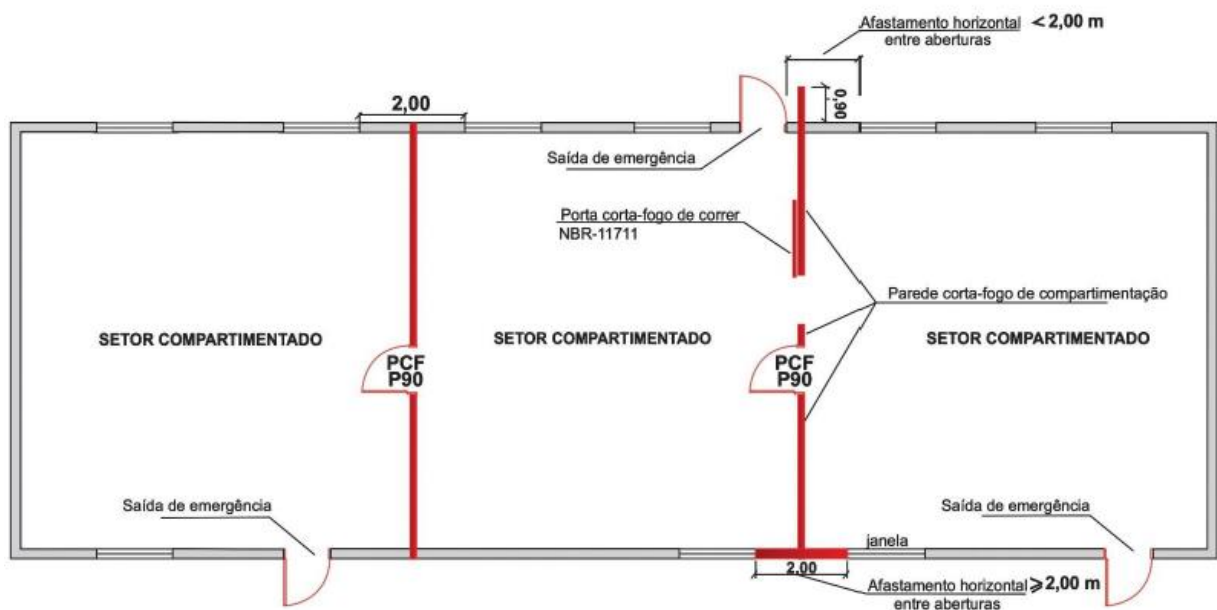
De forma a evitar que haja a propagação do incêndio para outros ambientes, a Instrução Técnica nº 09 (2018), do Estado de São Paulo, tem como objetivo definir parâmetros essenciais para o emprego e dimensionamento de compartimentação horizontal e vertical de edificações.

Há especificações quanto às áreas máximas permitidas quando há a necessidade de compartimentação horizontal, estas levam em conta o uso e a altura da edificação.

A compartimentação horizontal é constituída de elementos construtivos como: paredes e portas corta-fogo, e medidas de proteção como: vedadores, registros e selos corta-fogo, dispositivos automatizados de enrolar corta-fogo e afastamento horizontal entre aberturas, conforme ilustrado na Figura 9.

A compartimentação vertical é constituída de elementos construtivos como: entrepisos corta-fogo, enclausuramento de escadas, poços de elevador e monta-carga por paredes e portas corta-fogo, e outros elementos corta-fogo de separação vertical, e medida de proteção como: selos, registros, vedadores corta-fogo, selagem perimetral corta-fogo e dispositivos automatizados de enrolar corta-fogo.

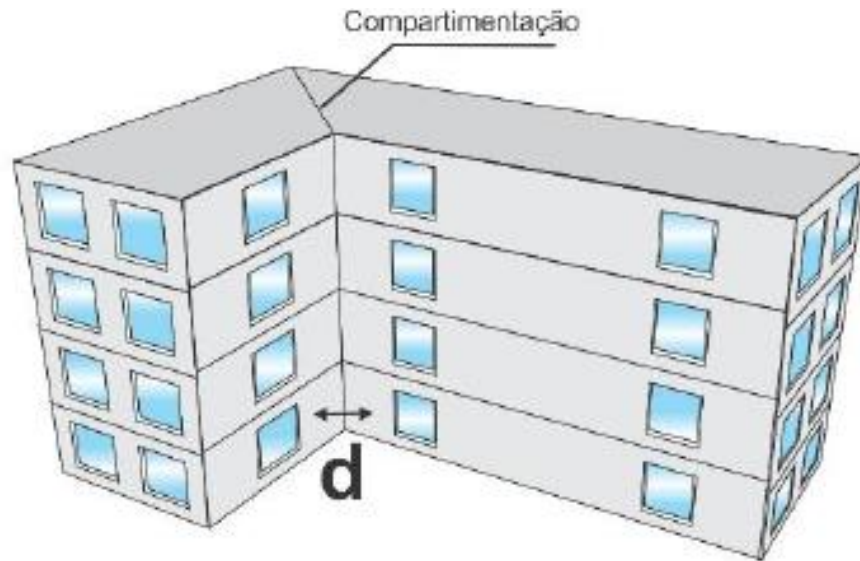
Figura 9 – Compartimentação horizontal



Fonte: IT 09, 2018.

A IT 09 (2018) estabelece dimensões mínimas a serem obedecidas com relação as distâncias entre aberturas presentes na mesma fachada, quando localizadas em lados opostos de uma parede de compartimentação. Deve-se manter uma distância mínima de 2m entre aberturas na mesma fachada, podendo esse valor ser substituído pelo prolongamento de 0,90m da parede de compartimentação, externo à edificação, conforme Figura 9.

Para fachadas ortogonais, a distância entre aberturas, em projeção horizontal, deve ser de 4m, conforme Figura 10, de forma a evitar a propagação do incêndio por radiação.

Figura 10 – Fachadas ortogonais

Fonte: IT 09, 2018.

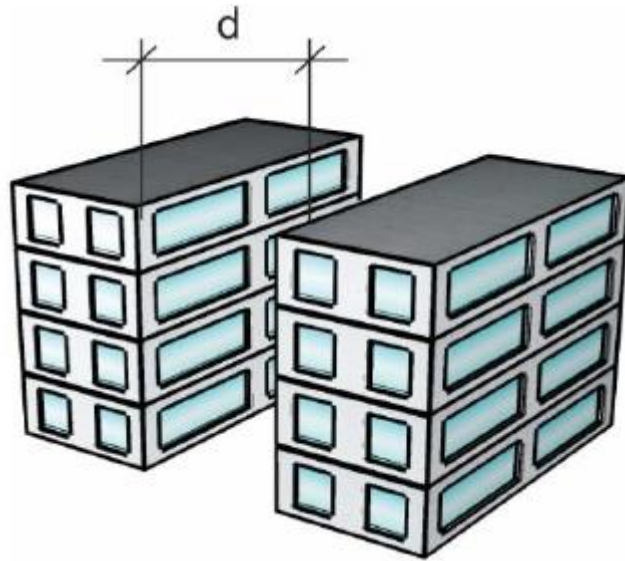
No caso de fachadas paralelas, Figura 11, a distância entre aberturas depende da porcentagem de aberturas presentes nas fachadas em questão, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Distância entre aberturas de acordo com a porcentagem de abertura da fachada

Porcentagem de abertura de toda a fachada (%)	Distância de compartimentação "d" (metros)
Até 20	4
De 21 a 30	5
De 31 a 40	6
De 41 a 50	7
De 51 a 60	8
De 61 a 70	9
Acima de 70	10

Fonte: IT 09, 2018.

Figura 11 – Fachadas paralelas



Fonte: IT 09, 2018.

De acordo com a instrução técnica, as distâncias estabelecidas para as fachas ortogonais e paralelas podem ser diminuídas pela metade se houver proteção das aberturas por elementos para-chamas ou ainda podem ser desconsideradas se os elementos de proteção forem do tipo corta-fogo. No caso das aberturas de banheiro, saunas, vestiários e piscinas a distância entre aberturas pode ser reduzido para 2m nos dois casos.

A Instrução Técnica nº09 (2018) permite a utilização de quaisquer materiais para a execução da compartimentação horizontal e vertical, desde que os mesmos possuam os TRRF previstos na IT 08 (2018), e nunca menor que 60 minutos, bem como os elementos de proteção das aberturas existentes nas paredes de compartimentação, os quais podem possuir TRRF de até 30 minutos menor que o da parede, porém nunca menor que 60 minutos.

No caso de edificações residências, as paredes divisórias entre unidades autônomas, apartamentos por exemplo, e unidades e áreas de uso comum devem possuir TRRF de no mínimo 60min, bem como as portas das unidades, as quais devem possuir resistência ao fogo de 30min (IT 09, 2018).

2.2.2.3 Materiais de acabamento e revestimento

A Instrução Técnica nº10 do Estado de São Paulo (2018) define parâmetros que devem ser atendidos pelos materiais de acabamento e de revestimento utilizado nas edificações, de

forma a prevenir a propagação do fogo e a produção de fumaça na edificação em circunstância de incêndio, nos casos onde esse controle é exigido.

A normativa adota como procedimento o Controle de Materiais de Acabamento e Revestimento (CMAR), o qual tem por objetivo definir parâmetros para os materiais utilizados dependendo do local onde serão aplicados, piso, paredes, teto ou cobertura, e o uso da edificação em que serão aplicados. O CMAR não é obrigatório nos casos de edificações menores que 750m² e com altura inferior à 12m nos grupos A, C, D, E, G, F-9, F-10, H-1, H-4, H-6, I, J.

A classificação dos materiais é feita a partir de ensaios, os quais devem reproduzir a forma com que esse material será aplicado na edificação, ou seja, se o material for aplicado em um substrato combustível o mesmo deve ser utilizado no ensaio, no caso da aplicação em substrato incombustível pode-se utilizar placas de fibrocimento com espessura entre 6 e 8mm. Materiais como, por exemplo, concreto, alvenaria, produtos cerâmicos, gesso, vidro, pedra natural e metais são considerados incombustíveis, sendo assim, são dispensados da avaliação do CMAR.

A IT 10 (2018) apresenta, ainda, três tabelas de classificação de materiais, as quais foram desenvolvidas a partir do método previsto pela NBR 9442:2019 – Materiais de construção - determinação do índice de propagação superficial de chama pelo método do painel radiante – método de ensaio. A primeira direcionada para materiais de revestimento de piso, a segunda para materiais exceto revestimento de piso, e a terceira para situações excepcionais, as quais não são abrangidas pelo método da NBR 9442:2019, sendo elas:

- Quando material sofre derretimento ou retração abrupta, distanciando-se da chama piloto;
- Quando a parte interna do material é composta por elemento combustível protegido por barreira incombustível ou que possa se desagregar;
- Materiais compostos por diversas camadas de elementos combustíveis, superando a espessura de 25cm;
- Quando há a formação de juntas na instalação do material, as quais permitem a propagação ou penetração do fogo.

Abaixo segue a tabela de classificação dos materiais exceto revestimento de piso, Tabela 3, e a tabela dos materiais que não podem ser classificados pela NBR 9442:2019, Tabela 4.

Tabela 3 – Classificação dos materiais exceto revestimento de piso

Método de ensaio		ISO 1182	NBR 9442	ASTM E 662
Classe				
I		Incombustível $\Delta T \leq 30^{\circ}\text{C}$; $\Delta m \leq 50\%$; $t_f \leq 10\text{ s}$	-	-
II	A	Combustível	$l_p \leq 25$	$D_m \leq 450$
	B	Combustível	$l_p \leq 25$	$D_m > 450$
III	A	Combustível	$25 < l_p \leq 75$	$D_m \leq 450$
	B	Combustível	$25 < l_p \leq 75$	$D_m > 450$
IV	A	Combustível	$75 < l_p \leq 150$	$D_m \leq 450$
	B	Combustível	$75 < l_p \leq 150$	$D_m > 450$
V	A	Combustível	$150 < l_p \leq 400$	$D_m \leq 450$
	B	Combustível	$150 < l_p \leq 400$	$D_m > 450$
VI		Combustível	$l_p > 400$	-

Fonte: IT 10, 2018.

Onde:

l_p = Índice propagação superficial de chama;

D_m = Densidade específica ótica máxima;

Delta T = Variação da temperatura no interior do forno;

Delta m = Variação da massa do corpo de prova;

t_f = Tempo de flamejamento do corpo de prova.

A Tabela 3 classifica os materiais de utilização, exceto revestimentos de piso, em incombustíveis e combustíveis, determinando limites de índice de propagação superficial de chama, determinado pelo ensaio proposto pela NBR9442:2019, e de valores de densidade específica ótica máxima.

Os materiais que não podem ser classificados de acordo com o método da NBR 9442:2019, são classificados a partir de valores obtidos por ensaios determinados pela EN 13823:2002, a qual determina ensaios de reação ao fogo para materiais de construção, exceto pisos expostos a ataque térmico por um único item em chamas. A norma europeia classifica esses materiais devido o índice da taxa de desenvolvimento de calor e da taxa de desenvolvimento de fumaça, conforme Tabela 4.

Tabela 4 – Classificação dos materiais que não podem ser classificados pela NBR 9442

Método de ensaio		ISO 1182	EN 13823 (SBI)	EN ISO 11925-2 (exp. = 30 s)
Classe				
I		Incombustível $\Delta T \leq 30^\circ\text{C}$; $\Delta m \leq 50\%$; $t_f \leq 10 \text{ s}$	-	-
II	A	Combustível	FIGRA $\leq 120 \text{ W/s}$ LSF < canto do corpo de prova THR600s $\leq 7,5 \text{ MJ}$ SMOGRA $\leq 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ e TSP600s $\leq 200 \text{ m}^2$	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 60 s
	B	Combustível	FIGRA $\leq 120 \text{ W/s}$ LSF < canto do corpo de prova THR600s $\leq 7,5 \text{ MJ}$ SMOGRA $> 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ ou TSP600s $> 200 \text{ m}^2$	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 60 s
III	A	Combustível	FIGRA $\leq 250 \text{ W/s}$ LSF < canto do corpo de prova THR600s $\leq 15 \text{ MJ}$ SMOGRA $\leq 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ e TSP600s $\leq 200 \text{ m}^2$	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 60 s
	B	Combustível	FIGRA $\leq 250 \text{ W/s}$ LSF < canto do corpo de prova THR600s $\leq 15 \text{ MJ}$ SMOGRA $> 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ ou TSP600s $> 200 \text{ m}^2$	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 60 s
IV	A	Combustível	FIGRA $\leq 750 \text{ W/s}$ SMOGRA $\leq 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ e TSP600s $\leq 200 \text{ m}^2$	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 60 s
	B	Combustível	FIGRA $\leq 750 \text{ W/s}$ SMOGRA $> 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ ou TSP600s $> 200 \text{ m}^2$	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 60 s
V	A	Combustível	FIGRA $> 750 \text{ W/s}$ SMOGRA $\leq 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ e TSP600s $\leq 200 \text{ m}^2$	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 20 s
	B	Combustível	FIGRA $> 750 \text{ W/s}$ SMOGRA $> 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ ou TSP600s $> 200 \text{ m}^2$	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 20 s
VI		-	-	FS $> 150 \text{ mm}$ em 20 s

Fonte: IT 10, 2018.

Onde:

FIGRA = Índice da taxa de desenvolvimento de calor;

LFS = Propagação lateral da chama;

THR600s = Liberação total de calor do corpo de prova nos primeiros 600s de exposição às chamas;

TSP600s = Produção total de fumaça do corpo de prova nos primeiros 600s de exposição às chamas;

SMOGRA = Taxa de desenvolvimento de fumaça, correspondendo ao máximo do quociente de produção de fumaça do corpo de prova e o tempo de sua ocorrência;

FS = Tempo em que a frente da chama leva para atingir a marca de 150mm indicada na face do material ensaiado;

Delta T = Variação da temperatura no interior do forno;

Delta m = Variação da massa do corpo de prova;

t_f = Tempo de flamejamento do corpo de prova.

A determinação da classe do material a ser utilizado como acabamento ou revestimento é definida pela IT 10 (2018), a qual classifica-os devido a ocupação da edificação aonde será aplicado e a finalidade do mesmo, abrangendo materiais de revestimento e acabamento, sendo o primeiro os materiais empregados nas superfícies dos elementos construtivos da edificação, pisos, forros e proteções térmicas, e o segundo aqueles utilizados como arremates entre elementos construtivos como, por exemplo, rodapés. A Tabela 5 apresenta essa classificação.

Tabela 5 – Classe de materiais a serem utilizados considerando o uso da edificação e a finalidade do material

		Finalidade do Material			
		Piso (Acabamento ¹ / Revestimento)	Parede e Divisória (Acabamento ² / Revestimento)	Teto e forro (Acabamento/ Revestimento)	Fachada (Acabamento/ Revestimento)
Grupo/ Divisão	A-3 ⁵ e Condomínios Residenciais ⁵	Classe I, II-A, III-A, IV-A ou V-A ⁷	Classe I, II-A, III-A, ou IV-A ⁸	Classe I, II-A, ou III-A ⁶	Classe I a II-B
	B, D, E, G, H, I-1, J-1 ⁴ , J-2, C-1, F-1, F-2, F-3, F-4, F-6, F-8, F-9, F-10	Classe I, II-A, III-A, ou IV-A	Classe I, II-A, ou III-A ⁹	Classe I, II-A	
	C-2, C-3, F-5, F-7, F-11, I-2, I-3, J-3, J-4, L-1, M-2 ³ e M-3	Classe I, II-A, III-A, ou IV-A	Classe I, II-A	Classe I, II-A	

Fonte: IT 10, 2018.

Para as edificações de uso residencial, as quais pertencem a divisão A, somente será necessário o CMAR quando essas possuírem altura superior a 12m. Os acabamentos e revestimentos de teto e forro, no caso das cozinhas, deverão pertencer às classes I ou II-A, e no caso dos pisos, somente o acabamento poderá pertencer à classe V-A, bem como nas paredes e divisórias, somente o revestimento pode ser classificado como classe IV-A. No caso da utilização de materiais isolantes termo acústicos nas paredes, o mesmo deve se enquadrar nas classes I, II-A ou III-A (IT 10, 2018).

2.2.3 Desempenho dos sistemas verticais de vedação

A norma de desempenho (NBR 15575:2013) objetiva, com relação à segurança contra incêndio, primeiramente a integridade física dos ocupantes da edificação e, posteriormente, a segurança do patrimônio (CBIC, 2013).

A parte 4 da norma de desempenho (NBR 15575-4:2013) trata dos requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas (SVVIE), e apresenta como critério para segurança contra incêndio a estabilidade da estrutura, definindo o valor de 30 minutos como o mínimo no caso de paredes com função estrutural, referenciando a NBR 5628:2001 como parâmetro de ensaio para sistemas verticais.

2.2.3.1 Critérios de segurança para os SVVIE

A NBR 15575-4:2013 estabelece três parâmetros de segurança para o SVVIE em situação de incêndio, são eles:

- Dificultar a ocorrência da inflamação generalizada: A norma estabelece como requisito das faces das paredes internas, e da superfície interna das paredes externas, dificultar a inflamação generalizada no ambiente onde houve o início do incêndio, evitando a produção da fumaça excessiva e facilitando a fuga da população em situação de incêndio.
- Dificultar a propagação do incêndio: a norma prevê a avaliação da reação ao fogo das superfícies externas das vedações verticais, àquelas que correspondem às fachadas.
- Dificultar a propagação do incêndio e preservar a estabilidade estrutural: a norma exige que todos os elementos de vedação vertical atendam a NBR 14432:2001, a qual define o TRRF, de forma a evitar a propagação do incêndio e resguardar a estabilidade da estrutura em situação de incêndio.

No caso de edificações de até cinco pavimentos com paredes estruturais as mesmas devem apresentar resistência ao fogo por no mínimo 30 minutos, assegurando condições de isolamento térmico, estanqueidade e estabilidade.

A norma de desempenho exige que as unidades habitacionais unifamiliares isoladas de até 2 pavimentos possuam resistência ao fogo mínima de 30 minutos para as vedações verticais presentes nas áreas de cozinha e locais onde é abrigado equipamentos de gás.

2.2.3.2 Classificação das faces das paredes

As superfícies dos sistemas de vedação verticais são classificadas conforme o uso do local em que estão inseridas, conforme especificado abaixo.

1- Superfícies internas das fachadas e ambas superfícies das vedações verticais internas:

a) I, II A ou III A, quando associadas à espaços de cozinha;

b) I, II A, III A ou IV A, quando associadas à locais internos da edificação, exceto cozinhas;

c) I ou II A, quando associadas à locais de uso comum da edificação;

d) I ou II A, quando associadas à o interior de escadas, porém, deve obedecer uma densidade específica (Dm) inferior a 100.

2 - Superfícies externas das fachadas: I ou II B;

3 – Materiais empregados no interior das paredes externas e internas: I, II A ou III A.

A classificação das superfícies e interior das paredes descrita acima provém da Instrução Técnica de São Paulo nº 10 (2018) e têm suas propriedades descritas na Tabela 3 e na Tabela 4.

Os ensaios devem ser realizados de forma que simulem a forma que serão aplicados na edificação, de acordo com a NBR 15575-4:2013, sendo assim, caso seja utilizado um substrato combustível, o mesmo deve ser utilizado no ensaio do material que será aderido nele.

2.3 Alvenaria Estrutural

O sistema de construção em alvenaria estrutural dispensa o uso de pilares e vigas, uma vez que os blocos estruturais utilizados além de servirem como vedação possuem função de suportar cargas, sendo assim, esse sistema construtivo se caracteriza pela execução simultânea da estrutura e da vedação do edifício (BAUER, 2019). Esse método construtivo possibilita a racionalização da construção de forma bastante significativa, se comparada aos processos de construção usuais (TAUIL e NESE, 2010).

A alvenaria estrutural é composta por blocos (cerâmicos, de concreto ou de sílico-calcário), argamassa e graute (BAUER, 2019). Os blocos representam até 95% do volume da construção, sendo assim, esses são responsáveis por definir a maior parte das características do sistema construtivo como a resistência a compressão e ao fogo, a estabilidade dimensional e o isolamento térmico e acústico (BAUER, 2019).

O processo de construção da alvenaria estrutural pode-se dar a partir de três tipos de alvenaria, a depender das solicitações e do projeto, que são: alvenaria não armada, alvenaria armada e alvenaria protendida. A alvenaria não armada diz respeito ao processo de construção que não há a utilização do graute, porém são utilizadas barras, fios e telas de aço com propósito construtivo e para evitar futuras patologias. A alvenaria armada é aquela em que são executados reforços passivos em pontos pré-estabelecidos, devido às solicitações existentes, com barras, fios ou telas de aço, os quais são posicionados nos furos verticais existentes dos blocos e grauteados. A alvenaria protendida trata-se do processo em que a alvenaria é reforçada com uma armadura ativa, ou seja, pré-tensionada, gerando um esforço de compressão na mesma (TAUIL e NESE, 2010).

As características de desempenho da alvenaria estrutural estão relacionadas com as propriedades físicas e mecânicas dos seus componentes e da qualidade de sua execução (BAUER, 2019).

2.3.1 Histórico da Alvenaria Estrutural

O processo de utilização da Alvenaria como estrutura data de milhares de anos, e iniciou-se a partir do conhecimento empírico aplicado expressivamente, na Antiguidade, nas catedrais, as quais existem até hoje e estão em excelente estado de conservação, atestando a qualidade, a durabilidade e o potencial desse processo construtivo (SÁNCHEZ, 2013).

Construções como as Pirâmides do Egito, o Coliseu Romano, a Catedral de Notre Dame e diversas pontes e castelos que marcaram a história da humanidade, ressaltam-se por diversos fatores, entre eles o processo de construção e a forma. (SÁNCHEZ, 2013).

As construções em Alvenaria Estrutural somente foram executadas entre os períodos da Antiguidade e da Revolução Industrial, pois, com o desenvolvimento do sistema de Concreto Armado, a partir do surgimento do aço e do concreto, houve o aumento da produção e da esbeltez das edificações, além da capacidade de produzir grandes vãos, dando uma maior liberdade arquitetônica para os empreendimentos (SÁNCHEZ, 2013).

Devido à escassez de aço e concreto gerada pela Segunda Guerra Mundial cresceram os estudos sobre Alvenaria Estrutural, criando-se assim, critérios e teorias de projeto, porém, somente na década de 1950 as normatizações passaram a dar o embasamento necessário para o projeto de paredes em alvenaria resistentes à compressão, porém, ainda com procedimento analíticos e teóricos rudimentares se comparados aos existentes, na época, para o aço e o concreto (SÁNCHEZ, 2013).

De acordo com Sánchez (2013), a Alvenaria Estrutural chegou ao Brasil como técnica de construção somente no final da década de 1960, e no ano de 1966 foi construído o conjunto habitacional Central Park Lapa em São Paulo, sendo esse o marco inicial do emprego de blocos de concreto em alvenaria estrutural armada no Brasil. Somente na década de 1980 que se iniciou o emprego de blocos cerâmicos não armados e armados nas obras de Alvenaria Estrutural no país, com a introdução no mercado de blocos com furos verticais e dimensões modulares, de forma a possibilitar a passagem das instalações elétricas sem a execução de cortes na alvenaria.

2.3.2 Alvenaria Estrutural em situação de incêndio

Para que os parâmetros mínimos de desempenho da edificação sejam atendidos é necessário conhecer o comportamento dos materiais e elementos presentes na construção em situação de incêndio (BRENTANO, 2015), uma vez que o comportamento resistente da alvenaria tem relação direta com o comportamento de cada um dos seus componentes (LEITE, 2018). De acordo com Brentano (2015) a reação ao fogo é responsável por determinar qual a contribuição para a origem, aumento e propagação das chamas.

Os elementos construtivos que compõem uma edificação devem ser classificados de acordo com três critérios: estanqueidade, isolamento térmico e estabilidade (CBIC, 2013).

A estanqueidade é a propriedade de um elemento de evitar que as chamas e os gases desenvolvidos dentro do ambiente em combustão se propaguem, por meio de fissuras e aberturas presentes no mesmo, expondo ao efeito do fogo o ambiente e as pessoas que se encontram na face não exposta do elemento (CBIC, 2013).

O isolamento térmico diz respeito a capacidade de evitar a transmissão de calor por meio da radiação e condução da face exposta à combustão para a não exposta, ameaçando a segurança das pessoas e objetos presentes no ambiente ao lado (CBIC, 2013). A temperatura da face não exposta deve ser menor que 140°C somado à temperatura ambiente, inicial, ou menor que 180°C somado à temperatura ambiente em qualquer ponto da face, uma vez acima desses valores, o isolamento térmico deixa de ser atendido (NBR 5628:2001).

A estabilidade é a propriedade do elemento construtivo de manter-se estável durante um determinado período de tempo, de forma a assegurar a estabilidade da edificação, impedindo rupturas e deslocamento verticais, devido à ação do fogo e dos carregamentos (BRENTANO, 2015).

De acordo com a CBIC (2013), os elementos de construção são classificados a partir dos três critérios mencionados acima em: estável ao fogo, para-chamas e corta-fogo. O primeiro diz

respeito à elementos que atendam ao critério de estabilidade, o segundo àqueles que atendam o critério de estabilidade e isolamento térmico e o último refere-se aos elementos que atendam os três critérios mencionados.

2.3.3 Comportamento dos materiais de construção frente ao fogo

Os tijolos cerâmicos, concreto, pedras e ferros são considerados materiais não combustíveis, ou seja, ao serem submetidos ao calor ou a chamas não geram gases combustíveis inflamáveis (BRENTANO, 2015), sendo assim, materiais cerâmicos e cimentícios, no geral, possuem um bom desempenho quando expostos à altas temperaturas, como no caso de incêndios, uma vez que, além de serem incombustíveis, possuem valores baixos de condutividade térmica. Sendo assim, as paredes de alvenaria estrutural podem apresentar resistência mecânica em temperaturas de até 1000°C, porém, o tempo de exposição causa danos na estrutura, como perda do isolamento térmico e deformações excessivas, o qual pode acarretar o colapso estrutural (ITT PERFORMANCE, 2016).

A composição química do material que se encontra sob a ação do fogo é de grande importância para se determinar a forma de manifestação do fogo, porém, essa manifestação pode ocorrer de formas distintas em função da superfície específica do material, das condições de calor que o mesmo está submetido, da quantidade de oxigênio existente no local e do grau de umidade (IT 02, 2018).

A resistência térmica da alvenaria, juntamente com a espessura do revestimento, é responsável por determinar a temperatura que a face não exposta irá alcançar. Quando expostas a altas temperaturas, as paredes de compartimentação sofrem com o gradiente térmico diferencial, em consequência da exposição de uma das faces à altas temperaturas, e as variações volumétricas, devido à expansão dos materiais na presença do fogo, e consequente abertura de fissuras e desagregação do revestimento e camadas de bloco. As características relativas às dimensões, vinculações de extremidade e os carregamentos também influem na modificação dos parâmetros da estrutura (ITT PERFORMANCE, 2016).

2.3.4 Componentes da Alvenaria Estrutural

O sistema construtivo em alvenaria estrutural é composto por blocos (cerâmicos, de concreto ou sílico-calcário), argamassa de assentamento e, eventualmente, graute e armadura de aço. Sendo assim, de acordo com Leite (2018), a resistência ao fogo da alvenaria depende

do comportamento de cada um desses componentes, isolados e em conjunto, frente à altas temperaturas, considerando ainda, a resistência de um eventual revestimento.

2.3.4.1 Blocos estruturais

Os blocos são elementos padronizados, de acordo com a família dimensional a que pertencem, a qual fixa o comprimento e a altura dos mesmos. Utiliza-se, por padrão, o valor de 20cm para o módulo vertical (PARSEKIAN, HAMID e DRYSDALE, 2012), sendo 19 cm a altura do bloco e 10mm a junta horizontal.

As características dos blocos estão vinculadas às definições de área bruta, líquida e efetiva, sendo:

- Área bruta: representa a área de um bloco ou parede ponderando-se suas dimensões externas e desprezando-se a presença dos furos verticais, considerando o elemento maciço;
- Área líquida: representa a área de um bloco ou parede ponderando-se suas dimensões externas e descontando-se os furos verticais presentes;
- Área efetiva: representa a área de uma parede em que a argamassa de assentamento é inserida (PARSEKIAN, HAMID e DRYSDALE, 2012).

A Alvenaria Estrutural no Brasil utiliza três tipos de blocos: os blocos de concreto, os blocos cerâmicos e os blocos de sílico-calcário, sendo os dois primeiros utilizados em maior escala. As normas nacionais que fixam procedimentos de projeto, execução e controle de obras em alvenaria estrutural de blocos cerâmicos são NBR 15812-1:2010, NBR 15812-2:2012 e NBR 15812-3:2017, para os blocos de concreto utiliza-se NBR 15961-1:2011 e NBR 15961-2:2011, e para blocos de sílico-calcário NBR 14974-1:2003 e NBR 14974-2:2003.

2.3.4.1.1 Bloco cerâmico

O bloco cerâmico é produzido a partir da argila, a qual possui na sua constituição sílica, silicato de alumínio e variadas quantidades de óxidos de ferro, podendo ser calcária ou não (MOHAMAD, MACHADO e JANTSCH, 2017). Os óxidos de ferro são geralmente encontrados nas cerâmicas vermelhas e conferem temperatura de queima da mesma por volta de 900°C. Blocos produzidos a partir de argila xistosa ou refratária possuem uma grande resistência ao calor (PARSEKIAN, HAMID e DRYSDALE, 2012).

A utilização de elementos cerâmicos ocorre de forma expressiva em diversas partes do mundo ao longo do tempo, devido à existência de jazidas de argila em diversas regiões, além de apresentarem características de durabilidade, boa aparência e necessidade de pouca manutenção observadas ao passar do tempo. (PARSEKIAN, HAMID e DRYSDALE, 2012).

A produção dos blocos cerâmicos ocorre pela mistura do material argiloso com 12 a 15% do peso seco de água, de forma a promover a plasticidade da mistura, e é levada à uma extrusora, a qual é responsável pela moldagem da seção transversal do bloco. Após a extrusão, os blocos são cortados, na sua altura final, com a ajuda de fios. Antes da queima, os blocos devem ser secados, de forma a remover excessos de água, o que pode ser feito em um secador ou em um forno contínuo, onde o processo pode durar de 20 a 80 horas e o bloco é exposto a temperaturas de pico, momento da fusão da cerâmica, conhecido como vitrificação, de até 1.000°C (PARSEKIAN, HAMID e DRYSDALE, 2012).

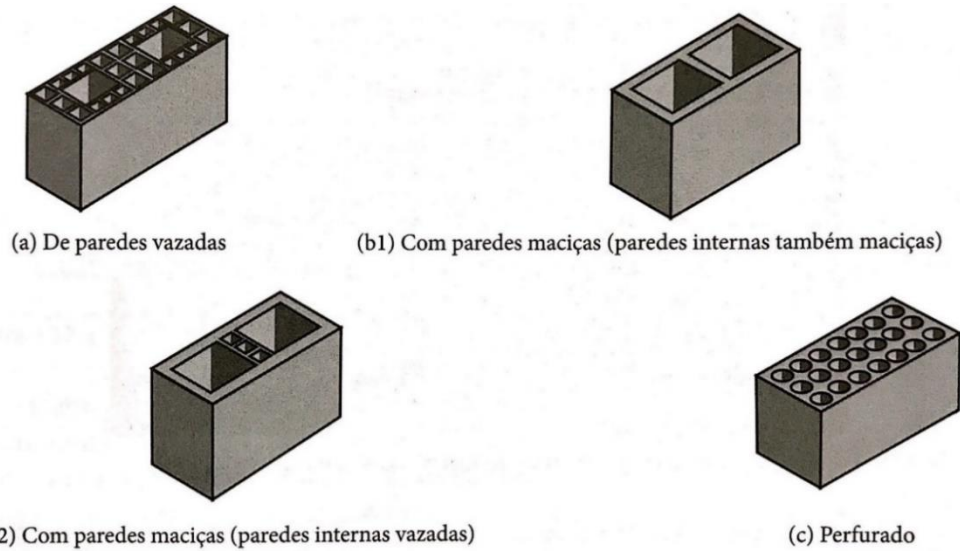
De acordo com a NBR 15270-2:2005, os blocos cerâmicos com função estrutural devem ser fabricados a partir do processo de conformação plástica da argila, podendo conter aditivos, e devem ser queimados à altas temperaturas.

Existem duas classes de classificação dos blocos, sendo a primeira os blocos de uso exclusivo para vedação (VED) como o VED15 e VED30, e a segunda os blocos para uso estrutural e de vedação racionalizada (EST) como o EST40, EST60 e EST80. Os valores de 40, 60 e 80 citados anteriormente representam a resistência característica a compressão dos blocos, sendo esses valores expressos em quilograma força por centímetro quadrado (kgf/cm^2) que representa, aproximadamente, 0,1MPa. Os blocos de vedação caracterizam-se pela presença de furos horizontais, já os blocos estruturais possuem seus furos na vertical (BAUER, 2019).

Os blocos cerâmicos estruturais possuem o formato de um prisma reto (NBR 15270-1:2017) e são classificados nos três grupos descritos abaixo e demonstrados na Figura 12.

- Blocos de paredes vazadas: paredes internas e externas possuem vazios verticais;
- Blocos de paredes maciças: paredes externas maciças e internas podem ser vazadas ou não, desde que a relação da área líquida para área bruta não ultrapasse 65%.
- Blocos Perfurados: vazios verticais presentes em toda a face de assentamento, respeitando a relação de área líquida para área bruta de até 75% (PARSEKIAN, HAMID e DRYSDALE, 2012).

Figura 12 – Formatos de blocos estruturais cerâmicos



Fonte: Parsekian, Hamid e Drysdale, 2012.

A NBR 15270-1:2017 fixa as dimensões que os blocos e tijolos cerâmicos devem possuir, bem como estabelece as tolerâncias e requisitos dimensionais, na Tabela 6 pode-se observar as dimensões definidas para os blocos cerâmicos estruturais.

Tabela 6 – Dimensões dos blocos estruturais cerâmicos

Dimensões modulares L x H x C Módulo dimensional M = 10cm	Dimensões nominais (cm)					
	Largura L	Altura H	Comprimento - C			
			Bloco principal	1/2 Bloco	Bloco L amarração	Bloco T amarração
M x (5/4)M x (5/2)M	9	11,5	24	11,5	-	34
M x (2)M x (5/2)M		19	24	11,5	-	34
M x (2)M x (3)M			29	14	24	39
M x (2)M x (4)M			39	19	29	49
			59	29	-	-
(5/4)M x (5/4)M x (5/2)M	11,5	11,5	24	11,5	-	36,5
(5/4)M x (2)M x (5/2)M		19	24	11,5	-	36,5
(5/4)M x (2)M x (3)M			29	14	26,5	41,5
(5/4)M x (2)M x (4)M			39	19	31,5	51,5
			59	29	-	-
(3/2)M x (2)M x (3)M	14	19	29	14	-	44
(3/2)M x (2)M x (4)M			39	19	34	54
			59	29	-	-
(2)M x (2)M x (3)M	14	19	29	14	34	49
(2)M x (2)M x (4)M			39	19	-	59
			59	29	-	-

Fonte: adaptado NBR 15270-1:2017.

A norma estabelece ainda que para blocos com função estrutural a largura de 90mm somente deve ser aplicada para obras de um único pavimento, a de 115mm para as de no máximo dois pavimentos e a de 140mm para as acima de dois pavimentos (BAUER, 2019).

Os valores de absorção d'água e resistência característica a compressão dos blocos estruturais são especificados na Tabela 7.

Tabela 7 – Resistência mínima e absorção d'água de blocos e tijolos

Especificação	Classe	fbk mínimo (MPa)	Absorção d'água (%)
Bloco para alvenaria racionalizada em em parede vazada com vazados verticais	EST40	4	8 a 21
	EST60	6	
	EST80	8	
	EST100	10	
	EST120	12	
	EST140	14	
Bloco ou tijolo para alvenaria racionalizada em parede maciça com vazados verticais	EST40	4	8 a 21
	EST60	6	
	EST80	8	
Bloco para alvenaria racionalizada em parede maciça com vazados verticais com parede interna dupla	EST40	4	8 a 21
	EST60	6	
	EST80	8	
	EST120	12	
	EST140	14	
	EST160	16	
	EST180	18	
	EST200	20	
Bloco perfurado ou alveolar para alvenaria	EST40	4	8 a 21
	EST60	6	
	EST80	8	
	EST120	12	
	EST140	14	
	EST160	16	
	EST180	18	
	EST200	20	

Fonte: adaptado da NBR 15270-1:2017.

A NBR 15270-2:2017 especifica ensaios de conformidade para os blocos e tijolos sendo eles: determinação das características geométricas e físicas, resistência à compressão, índice de absorção inicial, eflorescência e massa específica aparente, determinando a aceitação ou rejeição do lote.

Os blocos cerâmicos produzidos atualmente atingem resistências bem superiores às mínimas especificadas, 3,0 MPa para blocos estruturais, excedendo com bastante folga os

valores mínimos determinados, porém, sabe-se que a resistência à compressão é uma característica essencial para a durabilidade do bloco e bom desempenho da edificação (PARSEKIAN, HAMID e DRYSDALE, 2012).

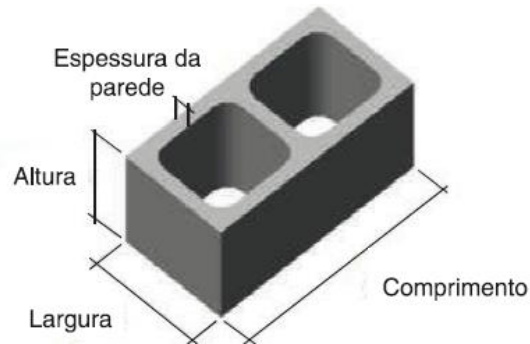
2.3.4.1.2 Bloco de concreto

Os blocos de concreto são constituídos, geralmente, de concreto do tipo seco, ou seja, com baixo teor de umidade, o qual tem como benefício a desforma imediata das peças, bem como menor consumo de cimento, ganho de produtividade e custos menores para a produção (BAUER, 2019). Por outro lado, segundo Fernandes (2012) citado por Bauer (2019), o aumento da relação água / cimento pode resultar em uma melhoria na moldagem das peças, obtendo-se assim maior compactidade e, conseqüentemente, uma melhor resistência mecânica. Além disso, o tipo de cimento utilizado também influi na obtenção de resistência das peças, bem como no consumo do mesmo, uma vez que cimentos de maior resistência conferem às peças maior resistência ou economia para a mesma resistência (FERNANDES, 2012 citado por BAUER, 2019).

A matéria prima que constitui os blocos de concreto abrange, basicamente, o cimento Portland, agregados e água, pode-se utilizar outros aglomerantes como escória de alto forno e cinza volante, bem como aditivos. Sua produção em massa ocorre em fábricas extremamente automatizadas, onde o concreto seco é compactado e vibrado em uma vibro-prensa, dentro de moldes metálicos responsáveis por definir o formato do bloco, e desmoldados logo em seguida, sendo assim, é de grande importância que a mistura disponha de resistência e rigidez logo após sua moldagem (PARSEKIAN, HAMID e DRYSDALE, 2012). O tipo de máquina utilizado para a moldagem dos blocos e sua regulagem possuem grande influência nas características finais dos mesmos, uma vez que o adensamento dos blocos depende somente da máquina (BAUER, 2019). Por fim, o processo de endurecimento ocorre, em fábricas modernas, pelo processo de cura a vapor durante cerca de 18 horas (PARSEKIAN, HAMID e DRYSDALE, 2012).

O bloco vazado de concreto simples, Figura 13, é aquele em que a área líquida corresponde a 75%, ou menos, da área bruta. Há ainda, os blocos tipo canaletas, para a execução de vergas, contravergas e cintas, e os blocos compensadores, utilizados para ajuste da modulação (NBR 6136:2016).

Figura 13 – Bloco vazado de concreto simples



Fonte: NBR 6136:2016.

A área bruta representa a seção perpendicular ao eixo dos furos sem a redução das áreas vazias, sem material. Já a área líquida representa a área média da seção com a redução das áreas médias dos vazios (NBR 6136:2016).

As paredes dos blocos de concreto com função estrutural possuem uma espessura menor na sua parte inferior se comparado com a parte superior, gerando uma inclinação na parede, tendo como objetivo facilitar a sua desmoldagem e o trabalho do pedreiro (PARSEKIAN, HAMID e DRYSDALE, 2012).

Os blocos de concreto são fabricados a partir de medidas de duas famílias distintas, a família 39cm, com dimensão modular de 40cm, e a família 29cm, com dimensão modular de 30cm, conforme Tabela 8 (NBR 6136:2016).

Além disso, os blocos são classificados em três classes: A, B e C. A classe A engloba os blocos com função estrutural com resistência igual ou maior que 8MPa, os quais podem ser utilizados acima ou abaixo do nível do solo (BAUER, 2019), uma vez que quanto maior a resistência a compressão do bloco de concreto maior a sua durabilidade (PARSEKIAN, HAMID e DRYSDALE, 2012). A classe B corresponde aos blocos estruturais com resistência característica à compressão maior ou igual a 4MPa, porém menor que 8MPa, podendo ser utilizado somente acima do nível do solo. E por fim, a classe C corresponde a blocos com ou sem função estrutural, com resistência maior ou igual a 3MPa, e com utilização unicamente acima do nível do solo (BAUER, 2019).

Tabela 8 – Dimensões nominais dos blocos de concreto

Família		20 x 40	15 x 40	15 x 30	12,5 x 40	12,5 x 25	12,5 x 37,5	10 x 40	10 x 30	7,5 x 40	
Medida Nominal mm	Largura	190	140		115			90		65	
	Altura	190	190	190	190	190	190	190	190	190	
	Comprimento	Inteiro	390	390	290	390	240	365	390	290	390
		Meio	190	190	140	190	115	-	190	140	190
		2/3	-	-	-	-	-	240	-	190	-
		1/3	-	-	-	-	-	115	-	90	-
		Amarração "L"	-	340	-	-	-	-	-	-	-
		Amarração "T"	-	540	440	-	365	-	-	290	-
		Compensador A	90	90	-	90	-	-	90	-	90
		Compensador B	40	40	-	40	-	-	40	-	40
		Canaleta inteira	390	390	290	390	240	365	390	290	-
		Meia canaleta	190	190	140	190	115	-	190	140	-
	NOTA 1 As tolerâncias permitidas nas dimensões dos blocos indicados nesta Tabela são de $\pm 2,0$ mm para a largura e $\pm 3,0$ mm para a altura e para o comprimento. NOTA 2 Os componentes das famílias de blocos de concreto têm sua modulação determinada de acordo com a ABNT NBR 15873. NOTA 3 As dimensões da canaleta J devem ser definidas mediante acordo entre fornecedor e comprador, em função do projeto.										

Fonte: NBR 6136:2016.

A Tabela 9 e a Tabela 10 demonstram requisitos de dimensões a serem respeitadas pelos blocos e requisitos de resistência, absorção e retração, respectivamente, conforme sua classe.

Tabela 9 – Largura e espessura mínima das paredes dos blocos de acordo com sua classe

Classe	Largura nominal (mm)	Paredes longitudinais (mm)	Paredes transversais	
			Paredes (mm)	Espessura equivalente (mm/m)
A	190	32	25	188
	140	25	25	188
B	190	32	25	188
	140	25	25	188
C	190	18	18	135
	140	18	18	135
	115	18	18	135
	90	18	18	135
	65	15	15	113

Fonte: adaptado da NBR 6136:2016.

Tabela 10 – Resistência característica à compressão, absorção e retração dos blocos de acordo com sua classe

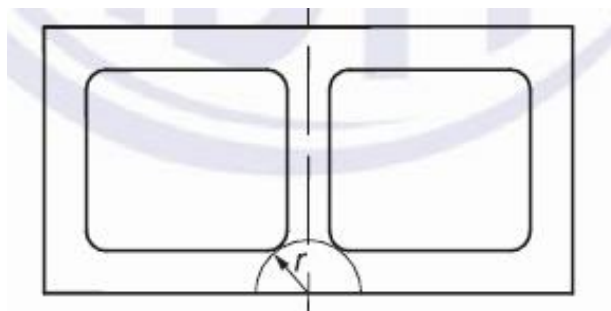
Classificação	Classe	Resistência característica à compressão axial ^a MPa	Absorção %				Retração ^d %
			Agregado normal ^b		Agregado leve ^c		
			Individual	Média	Individual	Média	
Com função estrutural	A	$f_{bk} \geq 8,0$	$\leq 8,0$	$\leq 6,0$	$\leq 16,0$	$\leq 13,0$	$\leq 0,065$
	B	$4,0 \leq f_{bk} < 8,0$	$\leq 10,0$	$\leq 8,0$			
Com ou sem função estrutural	C	$f_{bk} \geq 3,0$	$\leq 12,0$	$\leq 10,0$			

^a Resistência característica à compressão axial obtida aos 28 dias.
^b Blocos fabricados com agregado normal. (ver definição na ABNT NBR 9935).
^c Blocos fabricados com agregado leve. (ver definição na ABNT NBR 9935).
^d Ensaio facultativo.

Fonte: NBR 6136:2016.

As classes A e B devem, ainda, respeitar valores mínimos para as menores dimensões dos furos, conforme NBR 6136:2016, devendo a classe A possuir dimensão maior ou igual a 70mm para os blocos de 140mm de largura, e maior ou igual a 110mm para blocos de 190mm de largura. O raio mínimo das mísulas, Figura 14, dos blocos de classe A e B deve ser de 40mm e para a classe C de 25mm.

Figura 14 – Mísulas dos blocos de concreto



Fonte: NBR 6136:2016.

De acordo com Parsekian, Hamid e Drysdale (2012) a absorção dos blocos está intimamente ligada ao potencial de retração e a durabilidade dos mesmos, além disso os blocos de concreto carecem de normativa de ensaio de absorção inicial, a qual é de grande importância para determinar a aderência com a argamassa de assentamento.

Os blocos de concreto possuem um comportamento de expansão térmica bastante distinto dos blocos cerâmicos, apresentando valores de 0,009 mm/m/°C para blocos de agregado normal e 0,008mm/m/C° para blocos de agregados leves. A densidade do bloco também influi nesses valores (PARSEKIAN, HAMID e DRYSDALE, 2012).

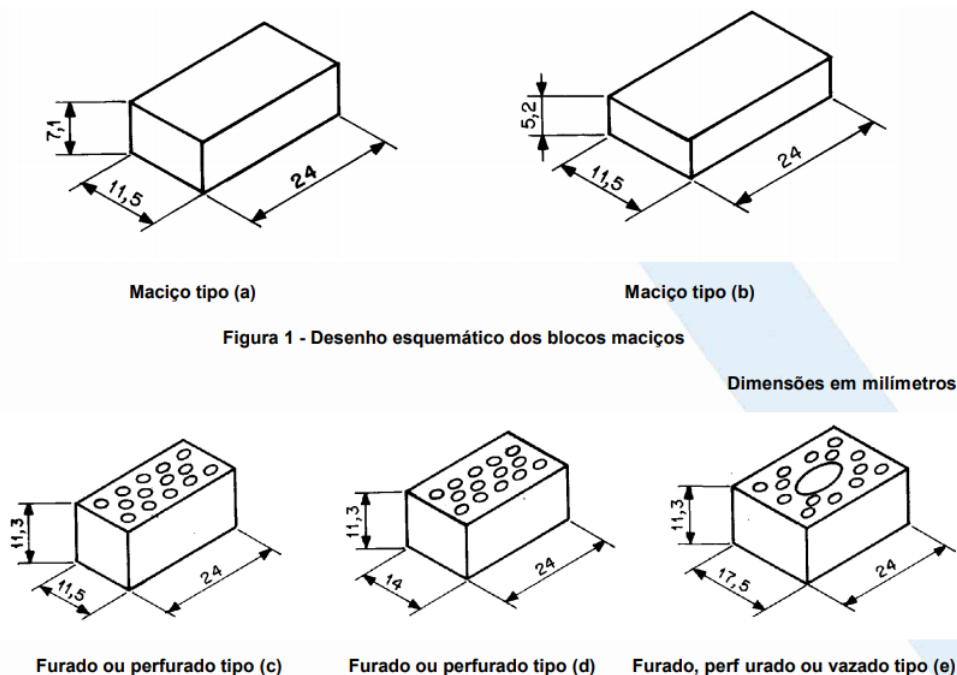
2.3.4.1.3 Bloco sílico-calcário

Os blocos de sílico-calcário, também conhecidos como blocos de areia e cal (PARSEKIAN, HAMID e DRYSDALE, 2012), são constituídos de areia quartzosa e cal e sua produção se dá a partir da prensagem e da cura, por meio do vapor, à altas pressões (autoclavagem) (MOHAMAD, MACHADO E JANTSCH, 2017). Sua utilização em grande escala ocorre na Europa, na Austrália e em algumas regiões dos Estados Unidos e Brasil (PARSEKIAN, HAMID e DRYSDALE, 2012).

A NBR 14974-1:2003 classifica os blocos de sílico-calcário de acordo com o seu tipo, bloco modular de 12,5cm e bloco modular de 20cm, e sua aplicação, bloco para alvenaria de vedação, alvenaria estrutural armada e alvenaria estrutural não armada.

Os blocos modulares de 12,5cm podem ser maciços, (a) e (b), ou furados ou perfurados do tipo (c), (d) e (e), conforme Figura 15.

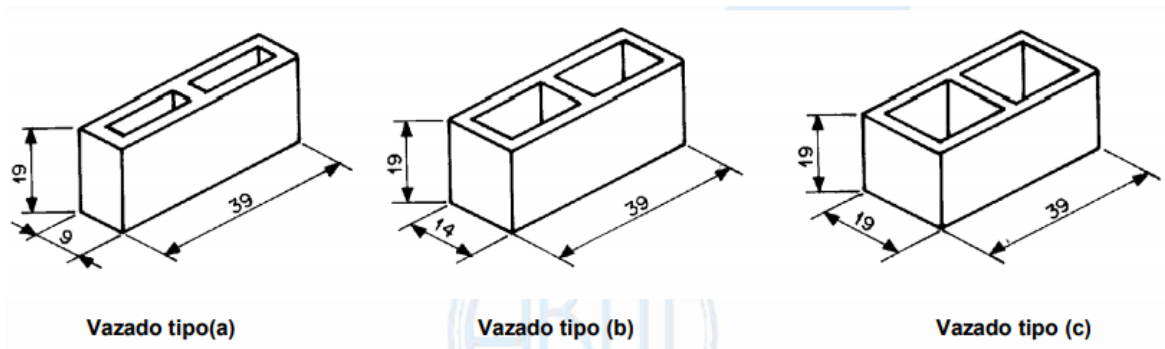
Figura 15 – Blocos modulares de 12,5cm maciços e furados ou perfurados



Fonte: NBR 14974-1:2003.

Os blocos modulares de 20cm podem ser vazados do tipo (a), (b) ou (c), Figura 16.

Figura 16 – Blocos modulares de 20cm vazados



Fonte: NBR 14974-1:2003.

Além disso, divide-se os mesmos em classes de acordo com a sua resistência característica a compressão, conforme Tabela 11.

Tabela 11 – Classes dos blocos de sílico-calcário

Classe	Resistência à compressão
Classe A	4,5 MPa
Classe B	6,0 MPa
Classe C	7,5 MPa
Classe D	8,0 MPa
Classe E	10,0 MPa
Classe F	12,0 MPa
Classe G	15,0 MPa
Classe H	20,0 MPa
Classe I	25,0 MPa
Classe J	35,0 MPa

Fonte: NBR 14974-1:2003.

De acordo com Parsekian, Hamid e Drysdale (2012), apesar de os blocos de sílico-calcário serem fornecidos com resistência de 4,5MPa a 35MPa, pode-se fabricar blocos de até 70MPa. A resistência a compressão e a tração dos blocos dependem da quantidade de cal

presente na mistura, da pressão de prensagem dos blocos e das condições de autoclavagem (PARSEKIAN, HAMID e DRYSDALE, 2012).

A absorção d'água de todos os blocos de sílico-calcário deve ter valores entre 10% e 18% (NBR 14974-1:2003).

2.3.4.2 Argamassas de assentamento

O produto final da argamassa é obtido a partir da mistura de um composto inerte, como a areia, e materiais com propriedades aglomerantes, como o cimento e a cal, podendo, ainda, conter aditivos (RIGÃO, 2012).

A argamassa utilizada para assentamento dos blocos no sistema construtivo de alvenaria estrutural deve apresentar, conforme Bauer (2019), trabalhabilidade compatível com o tipo de bloco, retenção de água, aderência com os blocos e resistência à compressão de forma a cumprir sua responsabilidade no sistema, que é solidarizar os blocos, transmitir e compensar as tensões entre os blocos e absorver as deformações da estrutura.

As propriedades de trabalhabilidade e retenção de água são de grande importância no estado fresco da argamassa, uma vez que a trabalhabilidade permite a aplicação de forma mais fácil e a retenção de água é a responsável pela hidratação do cimento presente na argamassa, pois a mesma controla a transferência da água para o bloco, possibilitando a aderência da mesma no bloco (BAUER, 2019).

Quando a argamassa já se encontra no seu estado endurecido as propriedades de aderência argamassa-bloco e resistência a compressão são as mais consideráveis. A aderência é obtida a partir da combinação das características da argamassa com o bloco, uma vez que a água presente na argamassa penetra os poros presentes no bloco formando cunhas, as quais provocam a aderência. O ensaio de tração na flexão especificado pela NBR 15961-1:2011 tem como objetivo verificar a aderência argamassa-bloco (BAUER, 2019).

A resistência a compressão da argamassa é definida em projeto, pelo responsável técnico, de forma a relacionar-se com a resistência à compressão do bloco, porém, não é aconselhável a utilização de traços muito fracos, menores que 1,5 MPa, e nem muito fortes, pois prejudica a resistência da alvenaria e aumenta a retração respectivamente (BAUER, 2019).

Para a determinação da resistência da argamassa deve-se executar o ensaio previsto na NBR 13279:2005, porém os valores obtidos no ensaio refletem somente a resistência à compressão proveniente da carga vertical aplicada (PARSEKIAN e SOARES, 2011 citado por BAUER, 2019), e a argamassa sofre, além da compressão vertical, duas compressões laterais

produzidas pela restrição à deformação lateral do bloco, geradas pela aderência. Sendo assim, a resistência real da argamassa é maior que o valor obtido em ensaio (BAUER, 2019).

Rigão (2012) realizou ensaios para a verificação do comportamento isolado de argamassas estruturais industrializadas frente à altas temperaturas, de modo que foram moldados 3 lotes, com 3 corpos de prova cada, com uma argamassa de resistência nominal de 4MPa. O primeiro lote foi utilizado para a verificação da resistência à temperatura ambiente, o segundo lote foi exposto à uma temperatura de 400°C e o terceiro à 900°C, conforme Tabela 12.

Tabela 12 – Valores de resistência obtidos no ensaio da argamassa estrutural

Ensaio resistência argamassa			
Lote	Temperatura (°C)	Resistência (MPa)	
		Tração	Compressão
1	ambiente	1,05	4,1
2	400	0,41	2,32
3	900	-	-

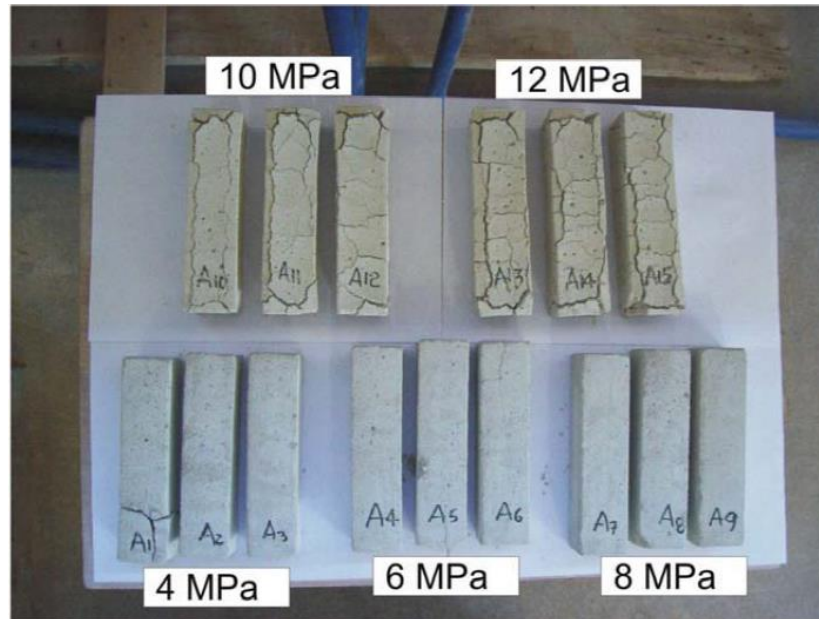
Fonte: autora, 2019.

A partir dos resultados obtidos, pode-se observar uma significativa diminuição da resistência residual da argamassa exposta à temperatura de 400°C, sendo na tração de 39% e na compressão de 56,6%. Os corpos de prova do terceiro lote não apresentaram resistências significativas e ao ficarem expostos às condições ambientes apresentaram grande deterioração. Durante o ensaio não foi observado uma diminuição significativa de massa da argamassa em nenhuma temperatura.

Rigão (2012) realizou, ainda, ensaios com argamassas estruturais industrializadas de diferentes resistências, 4, 6, 8, 10 e 12 MPa, expondo-as à temperatura de 900°C, e constatou que as argamassas não apresentaram nenhuma resistência residual após o ensaio, ou seja, houve a completa degradação das mesmas.

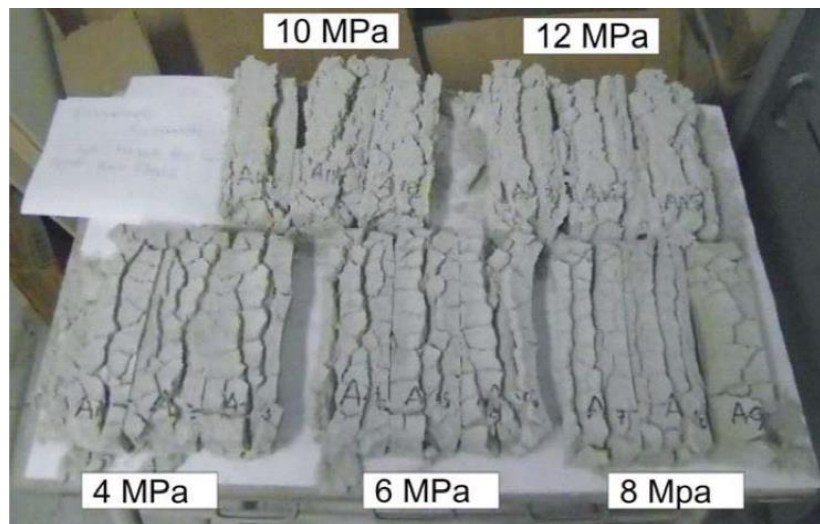
Pode-se observar que ao retirar os corpos de prova do forno, aqueles com maiores resistências sem aquecimento, os mesmos já apresentavam-se fissurados se comparados aos com menor resistência, porém, dois dias após o ensaio pode-se observar a degradação de todos os corpos de prova, conforme Figura 17 e Figura 18.

Figura 17 – Amostras recém retiradas do forno



Fonte: Rigão, 2012.

Figura 18 – Amostras dois dias após o ensaio



Fonte: Rigão, 2012.

De acordo com Rigão (2012) a deterioração das amostras comprova que o contato das mesmas com a umidade presente no ambiente impulsiona reações nos constituintes das argamassas, que por sua vez sofre redução de resistência.

O agregado presente na argamassa era de origem calcárea, sabe-se que o calcário a temperaturas próximas de 600°C apresenta modificação na sua estrutura e alteração de volume, o que justificaria as argamassas de maior resistência fissurarem mais.

Outro ponto importante é a grande concentração de hidróxido de cálcio nessas argamassas, o qual passa por um processo de calcinação quando aquecido, originando o óxido de cálcio, que por sua vez, ao reagir com a água volta a formar o hidróxido de cálcio, sendo essa reação expansiva, sendo assim, ao serem retiradas do forno, as amostras absorveram a umidade do ambiente e se desagregaram devido a reação expansiva.

2.3.4.3 Reboco de argamassa

De acordo com Silva, Côrrea e Oliveira (2015) as altas temperaturas atingidas em um incêndio transformam a água livre presente na argamassa em vapor, o qual tende a expandir, exercendo uma pressão no sentido de expulsar as camadas de reboco e chapisco da parede. A água utilizada para combater o incêndio contribui para a situação citada, uma vez que o revestimento absorve a mesma transformando-a, imediatamente, em vapor, causando o aumento da pressão na argamassa, o que pode resultar em uma força de arrancamento do reboco, do chapisco e das paredes externas dos blocos (SILVA, CÔRREA e OLIVEIRA, 2015). De acordo com Oliveira (2014) citado por Silva, Côrrea e Oliveira (2015) as situações que podem ocorrer devido a essa força são:

- Fragmentação do bloco;
- Rompimento da interface entre reboco/chapisco;
- Rompimento da interface chapisco / bloco;
- Arrancamento do chapisco com desprendimento de partes dos blocos;
- Ruptura dos septos que suportam o reboco e estão em contato com o chapisco, na face exposta ao fogo.

Essas situações podem ser observadas devido à força que o vapor produz no sistema e não por conta da temperatura que os elementos atingem (SILVA, CÔRREA e OLIVEIRA, 2015), uma vez que os blocos cerâmicos tendem a aumentar sua resistência quando submetidos a temperaturas de, no máximo, 1100°C, para que haja seu amolecimento sob carga deve-se superar essa temperatura, porém, incêndios com características normais são alcançam tal temperatura (REI, 1999 citado por SILVA, CÔRREA e OLIVEIRA, 2015).

2.3.4.4 Graute

O graute é utilizado na alvenaria estrutural com a finalidade de promover maior capacidade resistente da alvenaria e aderir às eventuais armaduras na estrutura. O aumento da resistência acarretado pelo graute está relacionado, diretamente, com o aumento da área líquida que ocorre ao preencher os furos dos blocos, já a eficiência do mesmo pode variar entre 60% e 100% (BAUER, 2019).

A resistência à compressão do graute deve ser especificado de acordo com a resistência dos blocos, de acordo com Parsekian et. al. (2014) citado por Bauer (2019) essa resistência deve ser de pelo menos 15MPa e igual a duas vezes a resistência do bloco, no caso de blocos com resistências muito altas deve-se limitar o graute a uma resistência de 30MPa.

Para a previsão da resistência da parede grauteada deve-se realizar o ensaio de prisma cheio ou, ainda, adotar a eficiência do graute de 60% e resistência a compressão similar ao do bloco na área líquida (PARSEKIAN e SOARES, 2011 citado por BAUER, 2019).

2.3.4.5 Prisma

Prisma é um componente feito de alvenaria, composto por dois blocos principais ligados por uma junta de argamassa de assentamento, a qual é aplicada em toda a face horizontal do bloco, incluindo septos laterais e transversais. O prisma pode ser cheio ou oco, sendo o primeiro onde os blocos são preenchidos com graute e o segundo não (BAUER, 2019). Esse elemento é utilizado para ensaios de determinação da resistência à compressão, conforme NBR 15961-2:2011, uma vez que os ensaios com paredes em escala real são de difícil execução e de custos altos (BAUER, 2019).

A NBR 15961-1:2011 define que somente 70% o valor de resistência obtido no ensaio de prisma deve ser considerado para determinar a resistência da parede.

2.3.5 Propriedades térmicas

A condutividade térmica (λ), o calor específico (c) e a densidade de massa aparente (ρ) são propriedades térmicas relevantes para os materiais utilizados na construção civil. A condutividade térmica trata-se do fluxo de calor transferido a partir de uma unidade de espessura e de uma unidade de gradiente térmico, como W/m.°C, o calor específico é a quantidade de calor necessária para aumentar em 1°C a temperatura de um componente por

unidade de massa (BAUER, 2019), e a densidade de massa aparente é o quociente da massa de um corpo pelo seu volume aparente (NBR 15220-1:2005).

Sabe-se que a condutividade térmica aumenta com a cristalinidade e diminui com a amorfização da cerâmica, sendo assim, os materiais cerâmicos possuem baixo coeficiente de condutividade térmica (BAUER, 2019).

A NBR 15220-2:2008 define valores de representatividade quanto a condutividade térmica, a densidade aparente e o calor específico de materiais constituintes de paredes e coberturas, conforme Tabela 13.

Tabela 13 – Propriedades térmicas de materiais constituintes de paredes

Material	ρ (kg/m³)	λ (W/(m.K))	C (Kj/(kg.K))
Argamassas			
argamassa comum	1800-2100	1,15	1
argamassa de gesso (ou cal e gesso)	1200	0,7	0,84
argamassa celular	600-1000	0,4	1
Cerâmica			
tijolos e telhas de barro	1000-1300	0,7	0,92
	1300-1600	0,9	0,92
	1600-1800	1	0,92
	1800-2000	1,05	0,92
Concreto (com agregados de pedra)			
concreto normal	2200-2400	1,75	1
concreto cavernoso	1700-2100	1,4	1
Gesso			
projetado ou de densidade massa aparente elevada	1100-1300	0,5	0,84
placa de gesso; gesso acartonado	750-1000	0,35	0,84
com agregado leve (vermiculita/perlita expandida)			
dosagem gesso:agregado = 1:1	700-900	0,3	0,84
dosagem gesso:agregado = 1:2	500-700	0,25	0,84

Fonte: adaptado da NBR 15220-2:2008.

A partir das propriedades térmicas dos materiais construtivos da Tabela 13, um catálogo sobre as propriedades térmicas de paredes e coberturas foi elaborado pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)(2011), o qual tem como objetivo especificar a transmitância térmica (U), que é o inverso da resistência térmica total, e a capacidade térmica (C_T) de paredes em blocos de concreto e cerâmicos (9 e 14cm), com revestimento externo de argamassa (2,5cm) e revestimento interno de argamassa ou gesso, variando as espessuras dos mesmos. A realização do catálogo utilizou materiais com as propriedades descritas na Tabela 14.

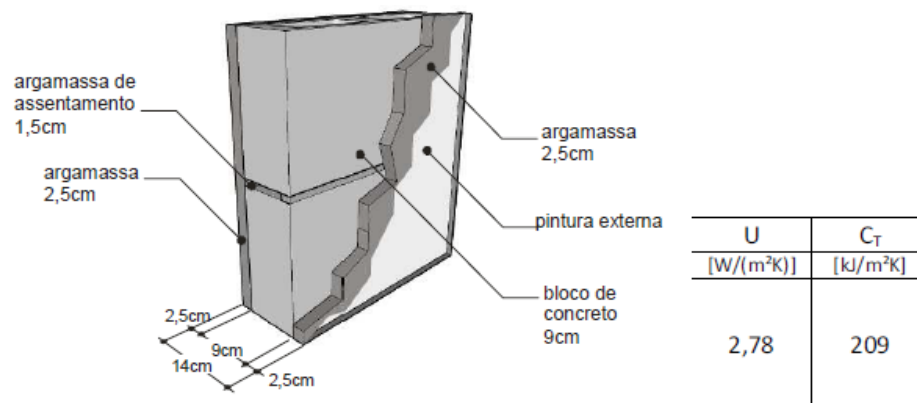
Tabela 14 – Propriedades térmicas dos materiais construtivos utilizados nas paredes

Material	Propriedade térmica		
	Densidade de massa aparente (ρ)	Condutividade térmica (λ)	Calor específico (c)
	[kg/m ³]	[W/(m.K)]	[J/(kg.K)]
Argamassa de assentamento	2000	1,15	1,00
Concreto (bloco e parede)	2400	1,75	1,00
Reboco	2000	1,15	1,00
Tijolo cerâmico	1600	0,90	0,92

Fonte: UFSC, 2011.

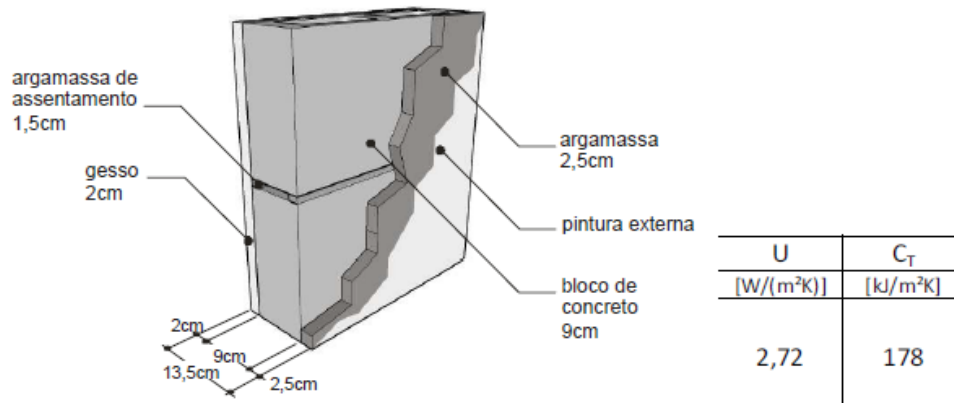
Para a obtenção da resistência total da parede deve-se somar as resistências parciais de cada uma das camadas presentes no sistema, respeitando a composição do mesmo. (ABCI, 1990).

As figuras Figura 19, Figura 20, Figura 21 e Figura 22, pode-se observar que os valores de transmitância térmica das paredes variaram de acordo com a espessura e o material utilizado, o maior valor é verificado na parede em que não há revestimento interno e o menor na parede com revestimento interno de 2cm de gesso. Já a capacidade térmica é maior na parede com revestimento em argamassa, afirmando um maior desempenho da mesma (UFSC, 2011).

Figura 19 – Alvenaria de bloco de concreto com revestimento interno em argamassa

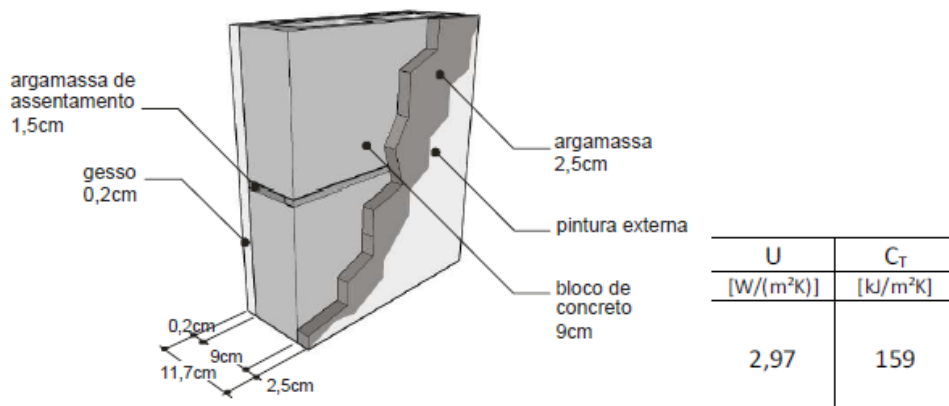
Fonte: adaptado UFSC, 2011.

Figura 20 – Alvenaria de bloco de concreto com revestimento interno em gesso de 2,0cm



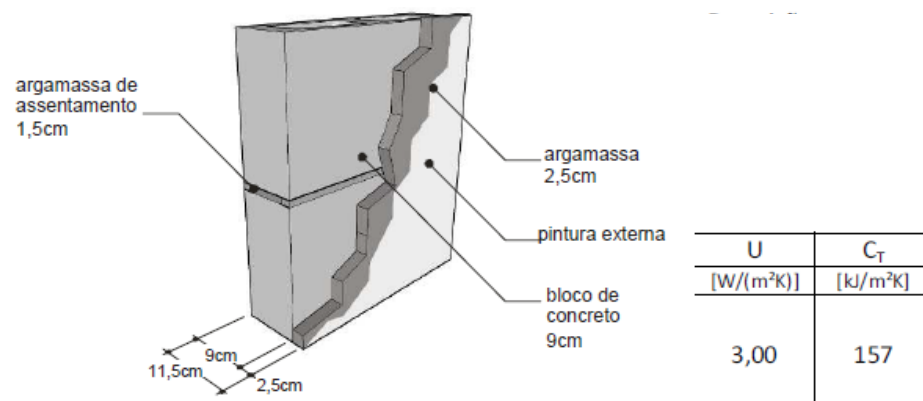
Fonte: adaptado UFSC, 2011.

Figura 21 – Alvenaria de bloco de concreto com revestimento interno em gesso de 0,2cm



Fonte: adaptado UFSC, 2011.

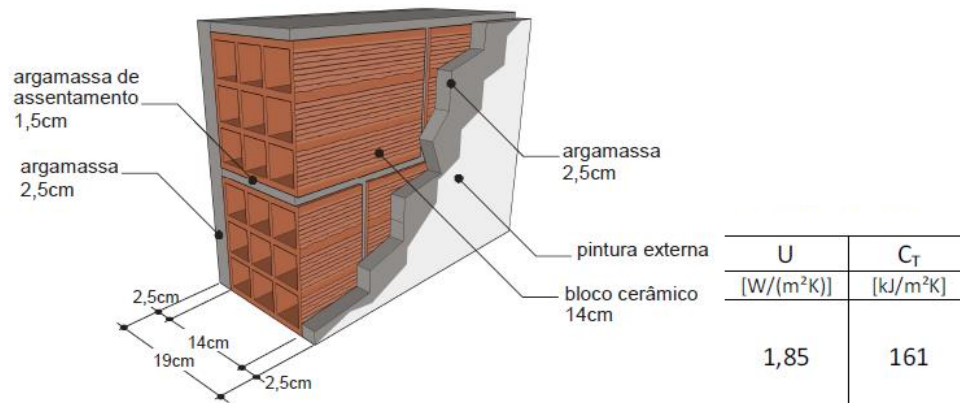
Figura 22 – Alvenaria de bloco de concreto sem revestimento interno



Fonte: adaptado UFSC, 2011.

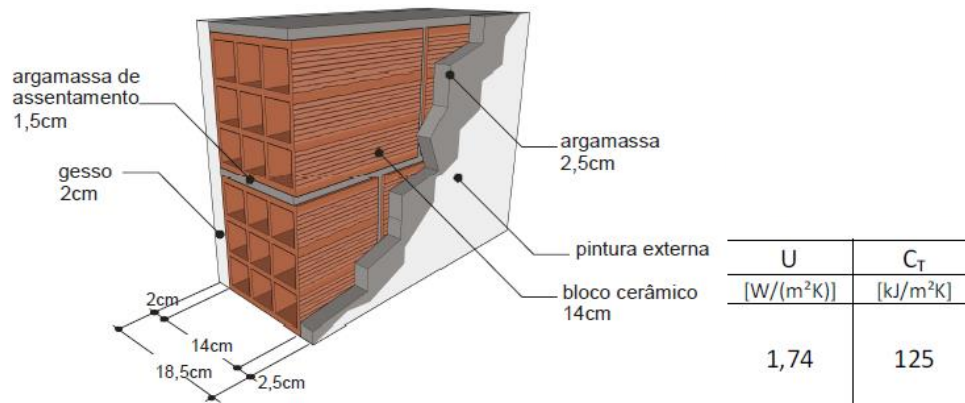
Foram calculadas, também, as propriedades térmicas de tijolos cerâmicos de 9 e 14cm, sendo aqui exposto somente os valores obtidos para os de 14cm, conforme figuras Figura 23, Figura 24, Figura 25 e Figura 26.

Figura 23 – Alvenaria de tijolo cerâmico com revestimento interno em argamassa



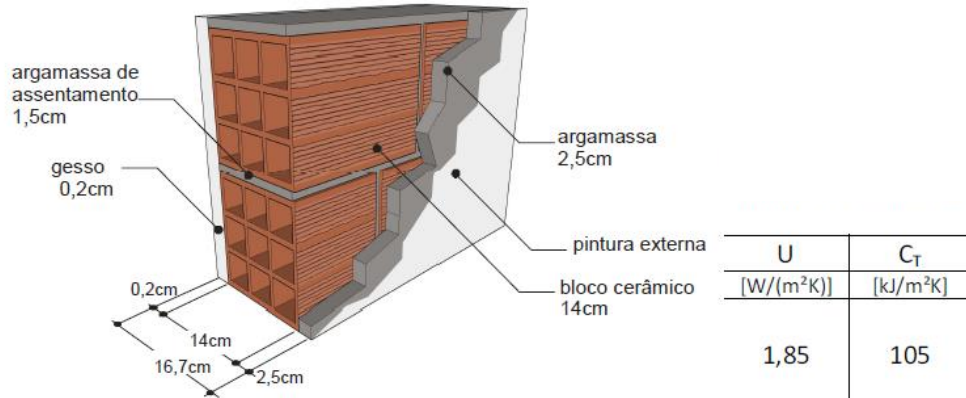
Fonte: adaptado UFSC, 2011.

Figura 24 – Alvenaria de tijolo cerâmico com revestimento interno em gesso de 2cm



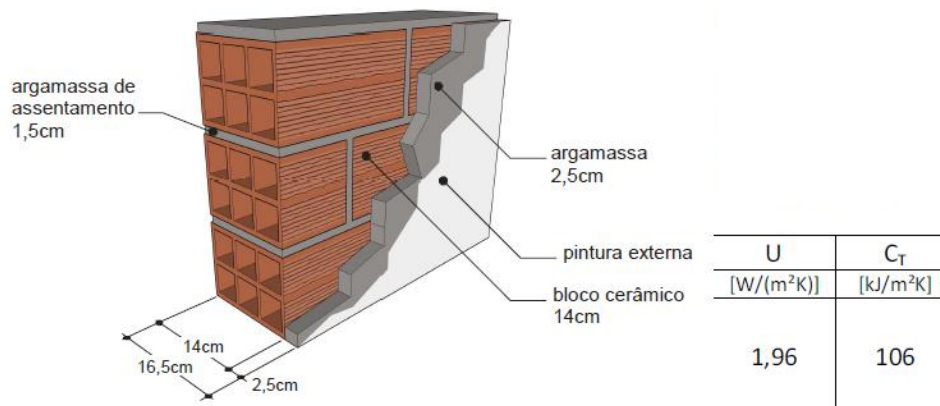
Fonte: adaptado UFSC, 2011.

Figura 25 – Alvenaria de tijolo cerâmico com revestimento interno em gesso de 0,2cm



Fonte: adaptado UFSC, 2011.

Figura 26 – Alvenaria de tijolo cerâmico sem revestimento interno



Fonte: adaptado UFSC, 2011.

Pode-se observar, a partir dos valores de transmitância térmica encontrados, que o revestimento utilizado impacta diretamente nas propriedades térmicas da parede, uma vez que utilizando como revestimento interno 2,5cm de argamassa obteve-se o mesmo valor para a espessura de 0,2cm de gesso, aumentando-se a espessura do gesso essa característica melhora mais ainda. Já a capacidade térmica mostra-se com melhores resultados no caso da parede com revestimento interno em argamassa, ou seja, são necessários 161kJ/m².K para aumentar uma unidade a temperatura da parede.

Comparando-se as paredes de bloco de concreto com as paredes de blocos cerâmicos pode-se observar que a primeira possui valores mais elevados de transmitância térmica se comparado com a segunda, porém, a condutividade térmica do primeiro possui valores mais baixos se comparado a segunda.

3 METODOLOGIA

O presente trabalho visa contribuir com os estudos que estão sendo desenvolvidos para elaborar a norma técnica brasileira de alvenaria estrutural em situação de incêndio, com ênfase nas paredes de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos, com função de compartimentação, revestidas com argamassa ou gesso, sendo assim, foi realizado um estudo baseado em dados experimentais e bibliográficos.

3.1 Reunião ABNT

Foi previsto acompanhar a reunião da ABNT para o desenvolvimento da norma, de forma a atualizar informações de acordo com o que já está sendo proposto pelo comitê responsável, porém, em função da pandemia gerada pelo Covid-19 a mesma não ocorreu.

3.2 Estudo bibliográfico

Foi realizado o estudo dos procedimentos previstos para o dimensionamento da alvenaria estrutural em situação de incêndio na Europa e nos Estados Unidos, a partir do código europeu, Eurocode 6 parte 1.2 (2005) e dos códigos americanos ACI/TMS 216.1-14:2014 e ASTM E 119:2014.

O ACI/TMS 216.1-14 (2014) é o código americano que determina a resistência ao fogo de construções em concreto armado e alvenaria estrutural, o mesmo embasa a verificação das paredes de alvenaria estrutural em função da garantia de valores mínimos para a espessura efetiva das paredes. Essa espessura é definida de acordo com o tipo de bloco e o tempo que o mesmo deve resistir ao fogo, considerando no seu cálculo parâmetros como o tipo de acabamento e a disposição dos vazios dos blocos (LEITE, JÚNIOR e TORRES, 2015). Já a ASTM E 119:2014 é a normativa americana responsável por definir o método de ensaio de paredes de alvenaria e elementos estruturais.

O Eurocode 6 parte 1.2 (2005) é o código europeu que determina as regras gerais para o dimensionamento de construções em alvenaria estrutural em situação de incêndio, considerando-se o tipo de bloco empregado, bem como seus componentes e o revestimento aplicado (LEITE, JÚNIOR e TORRES, 2015).

As duas normativas citadas consideram a resistência mecânica, a estanqueidade e o isolamento térmico como critérios a serem atendidos pelos elementos estruturais, e o Eurocode considera, ainda, um novo critério, o impacto mecânico (LEITE, JÚNIOR e TORRES, 2015).

3.3 Avaliação de resultados experimentais

Na avaliação de resultados experimentais foram analisados ensaios desenvolvidos pelo ITT Performance e pelo IPT, que são institutos brasileiros capacitados para desenvolver ensaios de determinação de resistência ao fogo em paredes estruturais.

O ITT Performance, localizado na Unisinos, Universidade do Vale dos Sinos, no estado do Rio Grande do Sul, é o único instituto da região sul do país capacitado e habilitado para desenvolver e avaliar sistemas estruturais e construtivos de acordo com os requisitos da norma de desempenho, NBR 15575:2013. Sendo a segurança contra incêndio um dos requisitos da mesma, o instituto possui equipamentos e uma equipe treinada para desenvolver ensaios de resistência ao fogo.

De forma a propiciar melhor entendimento das diversas variáveis que possam influenciar na resistência ao fogo de sistemas em alvenaria estrutural, o Instituto Tecnológico ITT Performance realizou, no período de 2015 a 2017, ensaios com paredes de alvenaria estrutural submetidas à altas temperaturas e carregamento, afim de verificar o gradiente de temperatura nas faces, a estabilidade estrutural, o encurvamento da alvenaria, a estanqueidade a gases quentes e fumaça, e o isolamento térmico (ITT PERFORMANCE, 2016).

As amostras foram executas em pórticos metálicos, de forma a serem acopladas no forno vertical para ensaio de resistência ao fogo, e ensaiadas no 56º dia após sua finalização, considerado o tempo de cura ideal para esse sistema (ITT PERFORMANCE, 2016). O forno vertical utilizado no ensaio é constituído de um sistema de carregamento, 4 queimadores, os quais são alimentados por gás liquefeito de petróleo (GLP), e termopares, sendo 5 do tipo K com diâmetro de 1,5mm, localizados na face exposta ao fogo, e 5 do tipo T com diâmetro de 0,7mm, localizados na face não exposta (Relatório 2221:2018).

O forno vertical utilizado, bem como o próprio ensaio, seguiu os procedimentos definidos pela NBR 5628:2001. As amostras foram classificadas conforme verificações de estabilidade, estanqueidade e isolamento térmico, classificando-as como corta-fogo enquanto atendessem a esses critérios (ITT PERFORMANCE, 2016).

O IPT se localiza na cidade e estado de São Paulo, e é um instituto vinculado à Secretaria de Desenvolvimento Econômico do Estado de São Paulo, sendo considerado um dos maiores institutos de pesquisa do Brasil (IPT, 2019).

O forno utilizado para os ensaios apresenta capacidade máxima de 2,85m de altura, 2,85m de largura e 0,95m de profundidade, sendo revestido com material refratário, seu processo de aquecimento é constituído por cinco queimadores a gás natural, localizados nas duas paredes laterais, não se encontrando frontalmente, de forma a distanciar-se 0,50m da parede onde se localiza o corpo de prova. Os produtos da combustão sofrem exaustão a partir de um conduto com diâmetro de 0,70m e altura de 0,40m, localizado na parede oposta ao do corpo de prova, na sua parte superior. Os carregamentos aplicados ao corpo de prova, e mantidos durante todo o programa de aquecimento, são realizados a partir de pistões hidráulicos, os quais tem como objetivo simular as solicitações de serviço da estrutura. Os procedimentos de ensaio utilizados são aqueles previstos pela NBR 5628:2001 (CETAC, 2014).

Os resultados obtidos pelo IPT a partir dos ensaios de paredes, utilizando blocos cerâmicos de diferentes dimensões, reboco de argamassa de cimento e gesso, com e sem carregamento, serão avaliados a partir da verificação do isolamento térmico, estanqueidade e estabilidade, de forma a comparar os resultados obtidos.

Após a análise dos resultados dos ensaios foi desenvolvido uma avaliação comparativa, considerando a influência do carregamento, do revestimento e da espessura final do bloco.

Em seguida foi realizado a análise dos resultados de ensaios disponibilizados pelos fornecedores de blocos cerâmicos, Pauluzzi, Cerâmica City, Contrurohr, Cerâmica Candelária, Cerâmica Roque, Selecta e Barrobelo de forma a verificar se os mesmos estão de acordo com o previsto pela norma de desempenho.

4 RESULTADOS

4.1 Normativas Internacionais

De forma a subsidiar as discussões para a criação da norma brasileira, segue abaixo as recomendações dadas pelas normas americanas e europeias. As normativas americanas não consideram o carregamento das paredes estruturais de forma explícita, já as normativas europeias consideram, sendo esse o código mais completo de todos (LEITE, 2018).

A aplicabilidade das normas a seguir na realidade brasileira deve ser examinada, em virtude de que tanto a geometria dos blocos quanto sua composição podem variar, bem como nos revestimentos, podendo apresentar divergências nas suas propriedades térmicas e mecânicas se comparado aos materiais utilizados na Europa e Estados Unidos (LEITE, 2018). Sendo assim, deve-se definir quais parâmetros podem, de forma efetiva, serem aplicados no Brasil.

4.1.1 Norma Americana - ACI/TMS 216.1-14:2014

A norma ACI/TMS 216.1-14:2014 do Instituto Americano de Concreto tem como objetivo definir os procedimentos de dimensionamento para resistência ao fogo de construções em concreto e alvenaria. De acordo com a norma americana, a resistência dos materiais e dos conjuntos pode ser definida a partir de quatro formas: por meio de ensaios com requisitos estabelecidos pela ASTM E 119:2014, por meio de cálculos que possuem seus procedimentos estabelecidos pela norma em questão, a partir da comprovação do desempenho passado obtido com o material ou conjunto, e por novas tecnologias que possam prever as implicações de segurança a vida das pessoas e proteção da propriedade.

4.1.1.1 Cálculo da espessura equivalente dos blocos cerâmicos

Para determinação da resistência ao fogo dos blocos de alvenaria cerâmica é necessário a obtenção da espessura equivalente do mesmo, a qual é determinada a partir da equação 6 abaixo:

$$T_e = V_n / LH \quad (6)$$

Onde:

T_e = espessura equivalente do bloco de alvenaria;

V_n = volume líquido do bloco de alvenaria;

L = comprimento específico do bloco de alvenaria;

H = altura específica do bloco de alvenaria.

Os blocos cerâmicos não grauteados ou parcialmente grauteados devem ter sua espessura equivalente definida pela equação 6, no caso dos blocos totalmente grauteados a espessura equivalente é a atual espessura do elemento, e no caso dos blocos em que os furos verticais são completamente preenchidos com material solto a espessura equivalente será a espessura atual do bloco, desde que o mesmo seja preenchido por: areia, cascalho, brita, escória, pedra-pome, xisto expandido, argila expandida, ardósia expandida, cinzas volantes expandidas, perlita ou vermiculita.

4.1.1.2 Cálculo da espessura equivalente dos materiais de acabamento

A norma considera também a influência dos materiais de acabamento no aumento da resistência ao fogo das paredes de alvenaria. No caso de as duas faces da parede serem consideradas como o lado exposto ao fogo e a mesma não apresentar material de acabamento em uma das faces, ou materiais diferentes, diferentes espessuras ou ambas as coisas, deve-se calcular a espessura equivalente de cada lado considerando-o o exposto ao fogo.

Para determinar a resistência ao fogo do lado da parede que não está exposto ao fogo deve-se ajustar a espessura equivalente do material de acabamento multiplicando a espessura atual pelo fator aplicável da Tabela 15, baseado no tipo de argila utilizado.

Tabela 15 – Fator de multiplicação para materiais de acabamento em paredes de alvenaria cerâmica não expostas ao fogo

Tipo de material usado na parede	Tipo de material de acabamento			
	Reboco de cimento Portland e areia ou ladrilho hidráulico	Reboco de gesso e areia	Reboco de gesso com vermiculita ou perlita	Drywall (gesso acartonado)
Alvenaria cerâmica - maciça	1	1,25	1,75	3
Alvenaria cerâmica - vazada	0,75	1	1,5	2,25

Fonte: adaptado da ACI/TMS 216.1-14:2014.

Para o cálculo da resistência ao fogo do lado exposto, deve-se adicionar o tempo atribuído ao material de acabamento em questão, conforme Tabela 16, ao tempo de resistência ao fogo da parede de alvenaria cerâmica.

Tabela 16 – Tempo atribuído ao material de acabamento na parede de alvenaria exposta ao fogo

Acabamento	Espessura	Tempo (min)
Drywall (gesso acartonado)	3/8 pol (9,5mm)	10
	1/2 pol (12,7mm)	15
	5/8 pol (15,9mm)	20
	Duas camadas de 3/8 pol (9,5mm)	25
	Uma camada de 3/8 pol (9,5mm) e uma camada de 1/2 pol (12,7mm)	35
	Duas camadas de 1/2 pol (12,7mm)	40
Drywall c/ resistência ao fogo	1/2 pol (12,7mm)	25
	5/8 pol (15,9mm)	40
Argamassa de cimento Portland e areia sobre tela de metal	3/4 pol (19mm)	20
	7/8 pol (22,2mm)	25
	1 pol (25,4)	30
Argamassa de gesso e areia sobre ripas de gesso de 3/8 pol	1/2 pol (12,7mm)	35
	5/8 pol (15,9mm)	40
	3/4 pol (19mm)	50
Argamassa de gesso e areia sobre tela de metal	3/4 pol (19mm)	50
	7/8 pol (22,2mm)	60
	1 pol (25,4)	80

Fonte: adaptado da ACI/TMS 216.1-14:2014.

4.1.1.3 Resistência ao fogo das paredes de alvenaria

A resistência ao fogo das paredes de alvenaria é definida pela Tabela 17, a partir da soma das espessuras equivalentes dos blocos e materiais de acabamento utilizados, conforme equação 7.

$$T_{ea} = T_e + T_{ef} \quad (7)$$

Onde:

T_{ea} = espessura equivalente da parede;

T_e = espessura equivalente do bloco cerâmico;

T_{ef} = espessura equivalente do acabamento.

Tabela 17 – Resistência ao fogo de paredes de alvenaria

Tipo de material	Espessura equivalente mínima para resistência ao fogo (cm)			
	1 hora	2 horas	3 horas	4 horas
Tijolo maciço de barro ou xisto	6,9	9,7	12,4	15,2
Bloco vazado ou telha de barro ou xisto, sem preenchimento	5,8	8,6	10,9	12,7
Bloco vazado ou telha de barro ou xisto, grauteada ou preenchida com materiais específicos	7,6	11,2	14,0	16,8

Fonte: adaptado da ACI/TMS 216.1-14:2014.

No caso de paredes com mais de duas espessuras, com materiais diferentes ou paredes separadas por espaços contínuos a norma indica uma equação que considera as resistências individuais de cada material mais o fator individual de espaço contínuo de ar entre camadas.

A norma estabelece que o tempo de resistência ao fogo que deve ser suprido somente pela parede de alvenaria, sem o material de acabamento, não pode ser menor que a metade de todo o tempo requerido de resistência ao fogo, bem como a contribuição do material de acabamento na face não exposta ao fogo não pode ultrapassar a metade da contribuição da alvenaria sozinha.

4.1.2 Métodos de ensaio padrão para ensaios de fogo em construções e materiais de construção - ASTM E 119:2014

A ASTM E 119:2014 é o código americano que determina o padrão de ensaio ao fogo das paredes de alvenaria e elementos estruturais, com o objetivo de medir e descrever a resposta dos materiais e dos conjuntos de materiais ao calor e a chama em condições controladas, definindo a duração que esses conjuntos são capazes de conter o fogo, mantendo sua integridade estrutural.

De acordo com a normativa, os testes devem ser realizados com o controle de temperatura conforme a curva padrão temperatura-tempo, gráfico 1. A temperatura do forno deverá ser a média das temperaturas obtidas por no mínimo 9 termopares, no caso das paredes, os quais devem estar simetricamente espaçados e distribuídos na amostra e distantes de 152mm da face exposta da amostra.

A amostra deve representar a realidade da construção que se quer classificar, quanto aos materiais, a mão de obra e as dimensões, sendo construída em condições representativas da construção e operação de edificações.

No caso de paredes estruturais, a norma define que a área da amostra exposta ao fogo não deve ser menor que 9m², com nenhuma dimensão menor que 2,7m. Durante o ensaio de resistência ao fogo é necessário aplicar na amostra uma carga correspondente a condição de carga máxima permitida pelo projeto estrutural, baseado nos critérios reconhecidos nacionalmente.

O ensaio é aprovado quando a amostra não apresenta perda de estabilidade, estanqueidade e isolamento térmico no período determinado.

4.1.3 Norma europeia - EUROCODE 6: EN 2005-1.2

O Eurocode 6 parte 1-2 é o código europeu que estabelece requisitos para o dimensionamento da alvenaria estrutural e de vedação em situação de incêndio, definindo como critérios a resistência mecânica (R), a estanqueidade (E), o isolamento térmico (I) e o impacto mecânico (M), diferente dos outros códigos que só preveem os três primeiros requisitos citados. As paredes devem atender aos critérios a que são solicitadas, sendo separadas em 5 grupos, onde:

Critério R - Paredes com função estrutural somente;

Critérios EI - Paredes com função de isolamento térmico e estanqueidade;

Critérios REI - Paredes com função estrutural, de isolamento térmico e estanqueidade;

Critérios REI-M - Paredes com função estrutural, de isolamento térmico, estanqueidade e resistência mecânica;

Critérios EI-M - Paredes com função de isolamento térmico, estanqueidade e resistência mecânica.

O critério R é satisfatório quando a função estrutural é mantida durante o tempo exigido de exposição ao fogo. O critério I é considerado satisfatório quando a temperatura da face não exposta não seja maior que 140K e a máxima temperatura em qualquer ponto da parede não exceda 180K. O critério E é satisfeito quando não há a passagem de chamas e gases quentes pela parede. E, por fim, o critério M é considerado satisfatório quando a parede resiste a aplicação de uma carga horizontal concentrada, conforme EN 1363-2:1999, sendo esse critério aplicado a paredes de compartimentação, por exemplo.

De acordo com a normativa, o modelo utilizado para o dimensionamento em situação de incêndio deve refletir a performance da estrutura nessa situação. A norma traz como opções à avaliação das paredes ensaios de laboratório, a partir do método tabular, pelo método de dimensionamento analítico simplificado ou ainda, conforme Leite (2018), por modelos numéricos feitos em *softwares* como *Abaqus*, *Ansys*, etc.

Para o dimensionamento das paredes de alvenaria em situação de incêndio é feito a distinção entre paredes com carregamento e sem carregamento, e paredes de compartimentação ou não, onde a primeira somente um lado é exposto ao fogo e a segunda os dois estão.

4.1.3.1 – Avaliação por meio de ensaios em laboratório

A EN 1365-1: 2012, junto a EN 1363-1:2012 que define requisitos gerais dos ensaios de resistência ao fogo, tem como objetivo definir a resistência de uma amostra, em tamanho real, a propagação do fogo, de forma a manter sua capacidade de carga. Essa normativa é aplicada tanto a paredes internas como externas.

As normativas definem todas as condições para o ensaio como a temperatura do forno, o tamanho e a quantidade de amostras, a concepção da amostra e a fixação da mesma ao forno, os locais de aplicação de carga, a carga que deve ser aplicada, o posicionamento dos termopares, entre outras especificações.

O desempenho das paredes é verificado, normalmente, sem perfurações, como portas, vidros ou dutos, uma vez que demonstrado que a carga não é transmitida para tal perfuração, caso contrário os efeitos devem ser estabelecidos de forma separada.

As paredes devem ser ensaiadas com suas dimensões reais, caso qualquer uma delas superar 3 metros, a amostra deve ter, pelo menos, 3 metros nessa dimensão. A amostra deve ser totalmente representativa da construção a ser utilizada na prática e projetada de forma a obter a maior aplicabilidade do resultado do teste.

4.1.3.2 – Avaliação pelo método tabular

A avaliação por meio do método tabular é feita a partir de tabelas que determinam a espessura mínima requerida para a alvenaria. O Anexo B da normativa traz essas tabelas que são, primeiramente, divididas pela função da parede na edificação, conforme os critérios de resistência expostos acima, e pelo tipo de material do bloco, em seguida, a divisão ocorre em função da resistência a compressão do bloco (f_b), da densidade dos blocos (ρ) e da relação entre

a força solicitante de cálculo da parede em situação de incêndio e a força resistente de compressão de cálculo (α) (LEITE, 2018). A Tabela 18 expõe as espessuras mínimas em função do tempo de resistência ao fogo de paredes carregadas de alvenaria cerâmica, critério REI.

Tabela 18 - Espessura mínima para paredes carregadas de alvenaria cerâmica (critério REI)

Nº da linha	Propriedades dos materiais Resistência à compressão (f_b) [N/mm ²] Densidade (ρ) [kg/m ³]	Mínima espessura (mm) t_f para a resistência ao fogo (minutos) para a classificação REI						
		30	45	60	90	120	180	240
1S	Blocos do Grupo 1S							
1S.1	$5 \leq f_b \leq 75$ argamassa de uso geral $5 \leq f_b \leq 50$ camada fina de argamassa $1000 \leq \rho \leq 14400$							
1S.1.1	$\alpha \leq 1,0$	90	90	90	100	100/140	170/190	170/190
1S.1.2		(70/90)	(70/90)	(70/90)	(70/90)	(90/140)	(110/140)	(170/190)
1S.1.3	$\alpha \leq 0,6$	90	90	90	100	100/140	170	170
1S.1.4		(70/90)	(70/90)	(70/90)	(70/90)	(100/140)	(110/140)	(140/170)
1	Blocos do Grupo 1 Argamassa: uso geral, camada fina, leve							
1.2	$5 \leq f_b \leq 75$ $800 \leq \rho \leq 2400$							
1.2.1	$\alpha \leq 1,0$	90/100	90/100	90/100	100/170	140/170	170/190	190/210
1.2.2		(70/90)	(70/90)	(70/90)	(70/90)	(100/140)	(110/170)	(170/190)
1.2.3	$\alpha \leq 0,6$	90/100	90/100	90/100	100/140	140/170	140/170	190/200
1.2.4		(70/90)	(70/90)	(70/90)	(70/90)	(100/140)	(110/170)	(170/190)

Fonte: adaptado de EN 1996-1-2:2005.

Na tabela os valores mínimos de espessura são indicados em valores únicos ou em um determinado intervalo, e podem ser utilizados para paredes sem acabamentos adequados às exigências da norma, uma vez que as espessuras se referem somente a alvenaria. Os valores que aparecem entre parênteses são as espessuras mínimas recomendadas para as paredes com acabamentos de acordo com o código.

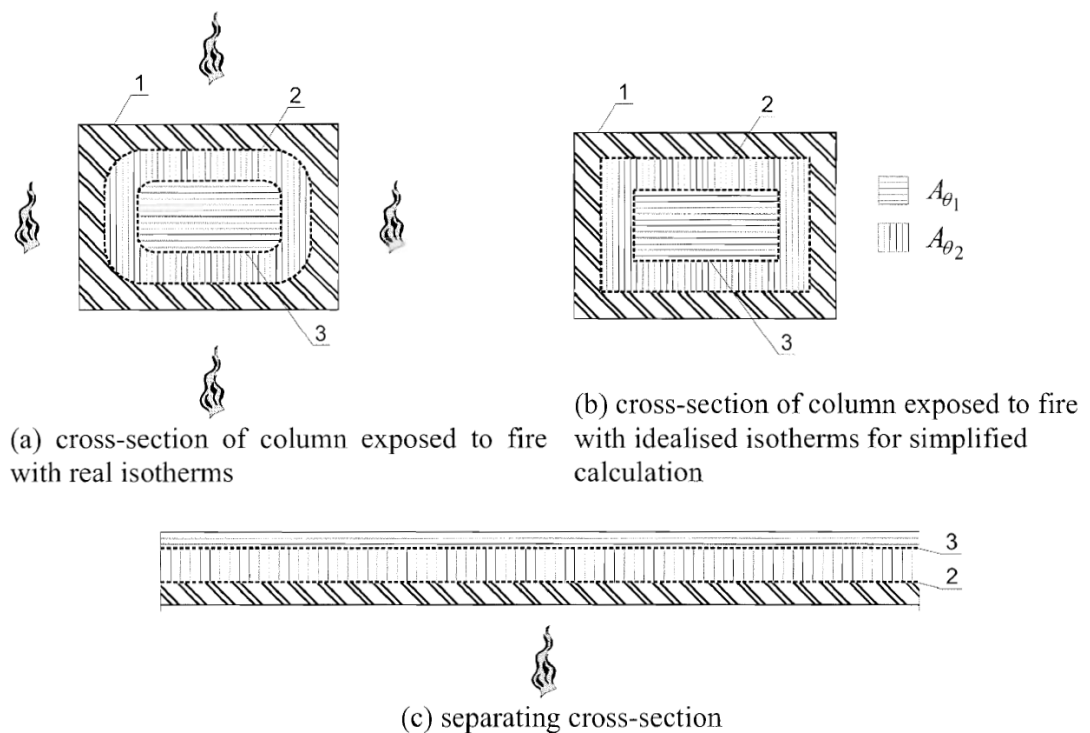
4.1.3.3 – Avaliação por método de dimensionamento analítico simplificado

A avaliação da resistência ao fogo de uma parede também pode ser realizada através de cálculos, considerando o modo de falha na exposição ao fogo, as propriedades do material que dependem da temperatura, a esbelteza e os efeitos de deformação e expansão térmica.

O método analítico simplificado somente pode ser utilizado para paredes com blocos e argamassas específicas determinadas na normativa, com limites para resistência e densidade.

O método consiste em determinar o perfil da temperatura na seção vertical da parede, a partir de isoterma, sendo uma para a temperatura θ_1 , que corresponde a temperatura em que a resistência à compressão da alvenaria é residual, e para a temperatura θ_2 , sendo considerado como nula a resistência a compressão da alvenaria acima desse valor. A Figura 27 exemplifica o procedimento descrito no caso de um pilar em alvenaria estrutural (a e b), com todas as faces expostas à altas temperaturas, e no caso de uma parede em alvenaria estrutural, com somente uma face exposta à altas temperaturas.

Figura 27 – Seção transversal de um pilar em alvenaria estrutural com ilustração das isoterma θ_1 e θ_2



Na figura pode-se observar a alteração da isoterma para o cálculo simplificado, em (a) tem-se as isotermas reais e em (b) as simplificadas, em 1 está demonstrado o limite original da seção em alvenaria, 2 é a isoterma θ_2 e 3 é a isoterma θ_1 .

Após a determinação da seção transversal estruturalmente ineficaz e a seção residual, é necessário proceder ao cálculo da capacidade de carga no estado limite último com a seção residual, verificando se se essa é superior a solicitação com a combinação de cargas relevante.

A temperatura distribuída pela seção da alvenaria e a temperatura que a mesma se torna ineficiente é função do tempo de exposição ao fogo, e deve ser obtida de resultado de ensaios ou de uma base de dados confiável.

4.1.4 Projeto de pesquisa ITT Performance

O Instituto ITT Performance desenvolveu entre os anos de 2015 e 2017 um projeto de pesquisa onde realizou ensaios com paredes de alvenaria estrutural submetidas à altas temperaturas e carregamento, com o objetivo de verificar a influência da espessura do revestimento de argamassa, determinando o gradiente de temperatura ao longo da seção transversal, e a presença de carregamento, verificando os deslocamentos horizontais da parede durante o aquecimento. O estudo também analisou o atendimento aos critérios de estabilidade estrutural, estanqueidade e isolamento térmico (ITT PERFORMANCE, 2016). Os ensaios foram desenvolvidos no laboratório de resistência ao fogo do ITT Performance.

Tabela 19 – Constituição das amostras de paredes em alvenaria estrutural

Parede		Revestimento interno		Revestimento externo	
		Chapisco	Revestimento	Chapisco	Revestimento
Com carregamento (10 tf/m)	C1	Não	00 mm	Sim	25 mm
	C2	Sim	15 mm	Sim	25 mm
	C3	Sim	25 mm	Sim	25 mm
Sem carregamento	S1	Não	00 mm	Sim	25 mm
	S2	Sim	15 mm	Sim	25 mm
	S3	Sim	25 mm	Sim	25 mm

Fonte: ITT Performance, 2016.

Para o desenvolvimento do estudo foram ensaiadas 6 amostras, em escala real, com dimensões de 3,15m por 2,80m, diferenciando-as na espessura do revestimento interno, face exposta ao fogo, sendo esse de 0, 15 e 25mm, e na carga de compressão axial, de 0 e 10tf/m, conforme Tabela 19 (ITT PERFORMANCE, 2016).

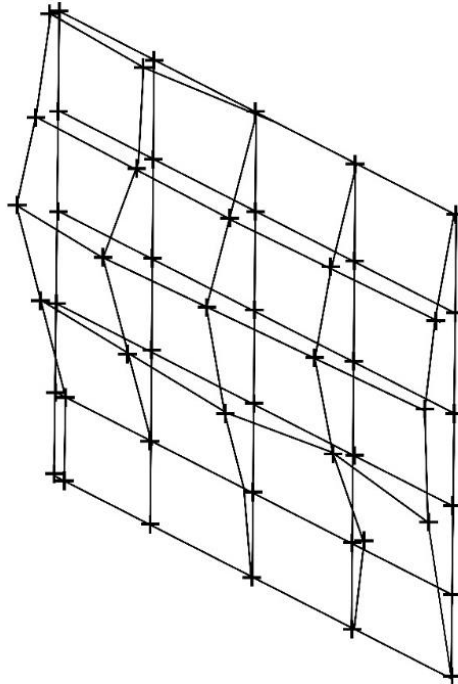
As amostras foram executas em pórticos metálicos, de forma a serem acopladas no forno vertical para ensaio de resistência ao fogo, e ensaiadas no 56º dia após sua finalização, considerado o tempo de cura ideal para esse sistema (ITT PERFORMANCE, 2016).

Utilizou-se blocos cerâmicos de 14x19x29cm e resistência de 7MPa com juntas verticais parciais e horizontais 1cm, aproximadamente, tendo a argamassa de assentamento 4MPa de resistência e traço em volume de 1:0,46:6 (cimento, cal e areia). Adicionou-se, também, na argamassa a partir da massa de cimento 0,25% de aditivo aerador, 0,85% de aditivo estabilizador de pega e 0,30% de aditivo retentor. Após 24h da conclusão da alvenaria, realizou-se o chapisco das faces pré-definidas, no traço em volume de 1:3 (cimento e areia grossa), e após 72h executou-se o revestimento com argamassa estabilizada 36h, no traço de 1:5 (cimento e areia) e com a adição sobre a massa de cimento de 0,35% de aditivo aerador e 1% de aditivo estabilizador de pega (ITT PERFORMANCE, 2016).

O forno vertical utilizado, bem como o próprio ensaio, seguiu os procedimentos definidos pela NBR 5628:2001. As amostras foram classificadas conforme verificações de estabilidade, estanqueidade e isolamento térmico, classificando-as como corta-fogo (CF) enquanto atendessem a esses critérios. De forma a complementar os ensaios, foi realizada uma análise com o auxílio de uma estação total em uma malha de 49 pontos, espaçados 50cm, a qual foi capaz de mensurar os deslocamentos horizontais devido ao gradiente térmico a cada 10 minutos. Para a verificação do isolamento térmico foi adicionado, de forma complementar, termopares ao longo da espessura da amostra, de forma a verificar a influência do revestimento (ITT PERFORMANCE, 2016).

A partir da análise dos resultados dos ensaios, verificou-se que as amostras submetidas a carregamentos sofreram deformações diferentes daquelas que não o receberam, as com carga apresentaram um encurvamento simples, conforme Figura 28, uma vez que restringem a borda superior e inferior (ITT PERFORMANCE, 2016).

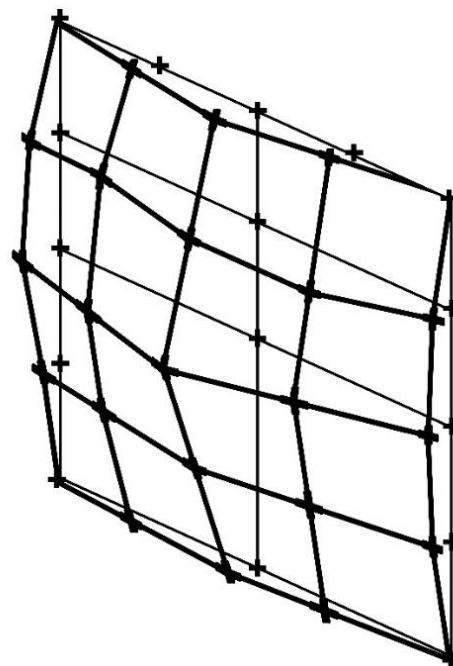
Figura 28 – Deformação de simples curvatura



Fonte: adaptado de ITT Performance, 2016.

As paredes ensaiadas sem carregamento sofreram uma deformação de dupla curvatura, conforme Figura 29, devido à ausência da restrição nas bordas superior e inferior.

Figura 29 – Deformação de dupla curvatura

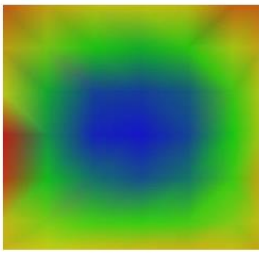
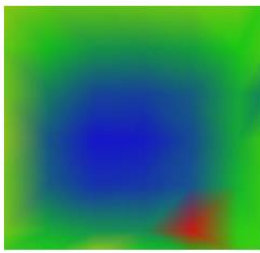
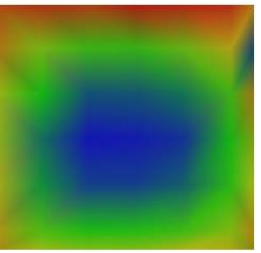
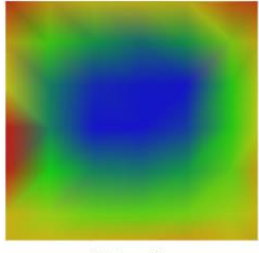
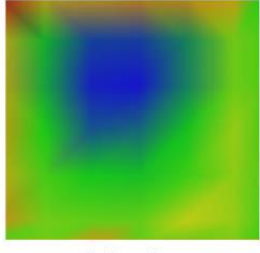
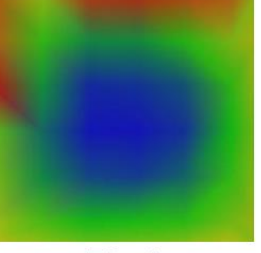


Fonte: adaptado de ITT Performance, 2016.

Durante o ensaio, o aquecimento da superfície exposta ao fogo causou o deslocamento da parede em direção ao calor, devido à expansão térmica, e após o término do ensaio, com a diminuição da temperatura, a amostra voltou a posição inicial e sofreu um deslocamento na direção contrária, sendo assim, os valores positivos da figura 29 demonstram os deslocamentos no primeiro momento, e os valores negativos demonstram os deslocamentos após o resfriamento da amostra.

As amostras com carregamento sofreram deformações na sua porção superior devido à limitação das bordas gerada pela aplicação de carga (ITT PERFORMANCE, 2016), e os valores máximos obtidos, entre 32 e 23mm, ocorreram após o resfriamento da amostra, conforme Figura 30.

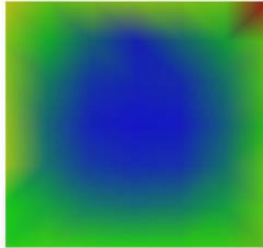
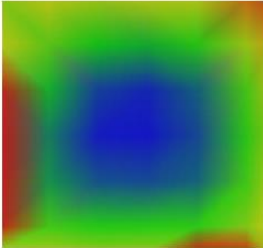
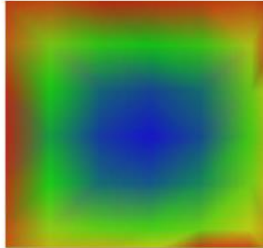
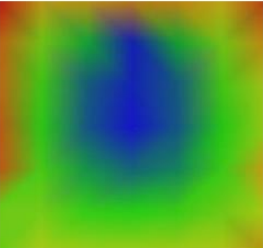
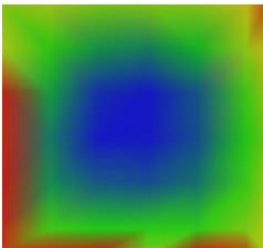
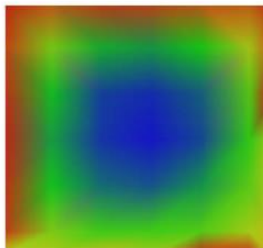
Figura 30 – Deslocamentos obtidos nas amostras COM carregamento

Parede C1 Rev. interno: 00 mm Carregamento: 10 ton/m	Parede C2 Rev. interno: 15 mm Carregamento: 10 ton/m	Parede C3 Rev. interno: 25 mm Carregamento: 10 ton/m
 <p>30 min Max. Sent. Ext.: 6 mm Max. Sent. Int.: -26 mm</p>	 <p>30 min Max. Sent. Ext.: 11 mm Max. Sent. Int.: -18 mm</p>	 <p>30 min Max. Sent. Ext.: 3 mm Max. Sent. Int.: -23 mm</p>
 <p>100 min Max. Sent. Ext.: 6 mm Max. Sent. Int.: -32 mm</p>	 <p>240 min Max. Sent. Ext.: 12 mm Max. Sent. Int.: -20 mm</p>	 <p>240 min Max. Sent. Ext.: 7 mm Max. Sent. Int.: -23 mm</p>

Fonte: ITT Performance, 2016.

As amostras sem carregamento por apresentaram dupla curvatura, obtiveram valores máximos maiores, entre 43 e 39mm, esses também visualizados após o resfriamento da amostra, conforme Figura 31.

Figura 31 – Deslocamentos obtidos nas amostras SEM carregamento













































Parede S1 Rev. interno: 00 mm Carregamento: 0 ton/m	Parede S2 Rev. interno: 15 mm Carregamento: 0 ton/m	Parede S3 Rev. interno: 25 mm Carregamento: 0 ton/m
 <p data-bbox="432 719 695 813"> 30 min Max. Sent. Ext.: 41 mm Max. Sent. Int.: -35 mm </p>	 <p data-bbox="740 719 1003 813"> 30 min Max. Sent. Ext.: 15 mm Max. Sent. Int.: -43 mm </p>	 <p data-bbox="1048 719 1311 813"> 30 min Max. Sent. Ext.: 6 mm Max. Sent. Int.: -39 mm </p>
 <p data-bbox="432 1088 695 1182"> 240 min Max. Sent. Ext.: 19 mm Max. Sent. Int.: -40 mm </p>	 <p data-bbox="740 1088 1003 1182"> 240 min Max. Sent. Ext.: 9 mm Max. Sent. Int.: -30 mm </p>	 <p data-bbox="1048 1088 1311 1182"> 240 min Max. Sent. Ext.: 7 mm Max. Sent. Int.: -29 mm </p>

Fonte: ITT Performance, 2016.

O ensaio de temperatura apresentou significativas diferença de valores nas amostras devido à espessura do revestimento, o qual demonstrou retardar a condução do calor na parede, como pode-se observar nos valores das amostras S1 e S3, na Tabela 20, a face não exposta da primeira, sem revestimento, alcançou a temperatura de 247,5°C aos 240min, enquanto a segunda, com revestimento de 25mm, obteve o valor de 132,9°C no mesmo período.

As temperaturas nas faces expostas e não expostas estão identificadas pelas siglas FE e FN, respectivamente.

Tabela 20 – Temperatura das faces das amostras SEM carregamento

Tempo	Parede S1 Rev. Int.: 00 mm Carreg.: 0 ton/m	Parede S2 Rev. Int.: 15 mm Carreg.: 0 ton/m	Parede S3 Rev. Int.: 25 mm Carreg.: 0 ton/m	Parede C1 Rev. Int.: 00 mm Carreg.: 10 ton/m	Parede C2 Rev. Int.: 15 mm Carreg.: 10 ton/m	Parede C3 Rev. Int.: 25 mm Carreg.: 10 ton/m
30 min	 Temp. FE: 824,7°C Temp. FN: 38,2°C	 Temp. FE: 894,2°C Temp. FN: 41,3°C	 Temp. FE: 928,1°C Temp. FN: 34,6°C	 Temp. FE: 825,5°C Temp. FN: 37,6°C	 Temp. FE: 917,5°C Temp. FN: 32,3°C	 Temp. FE: 930,2°C Temp. FN: 31,0°C
60 min						
90 min						
120 min						
150 min				Temp. FE: 1001,1°C Temp. FN: 96,6°C		
180 min				--		
210 min				--		
240 min	 Temp. FE: 1117,6°C Temp. FN: 247,5°C	 Temp. FE: 1173,2°C Temp. FN: 205,1°C	 Temp. FE: 1203,3°C Temp. FN: 132,9°C	--	 Temp. FE: 1181,6°C Temp. FN: 344,7°C	 Temp. FE: 1211,8°C Temp. FN: 168,7°C

Fonte: ITT Performance, 2016.

As amostras sem carregamento apresentaram menores temperaturas na face não exposta ao fogo se comparadas as com carregamento, como pode-se observar comparando as amostras S3 e C3, ambas com revestimento de 25mm, a primeira apresentou a temperatura de 132,9°C aos 240 minutos de ensaio, enquanto a segunda obteve um valor de 168,7°C no mesmo período.

A Tabela 21 apresenta um resumo das 6 amostras ensaiadas bem como o tempo de atendimento aos requisitos de estabilidade, estanqueidade e isolamento térmico de cada uma delas, determinando, por fim, o tempo de resistência ao fogo obtido para cada uma.

Tabela 21 – Resultado dos ensaios de resistência ao fogo das 6 amostras

Parede		Junta de assentamento		Revestimento de argamassa		Ensaio de resistência ao fogo				
		Horiz.	Vert.	Interno	Externo	Duração	Estab.	Estanq.	Isolam. térmico	TRF
Com carregamento (10 tf/m)	C1	1 cm	1 cm	00 mm	25 mm	102 min	81 min	102 min	102 min	81 min
	C2	1 cm	1 cm	15 mm	25 mm	240 min	240 min	240 min	142 min	142 min
	C3	1 cm	1 cm	25 mm	25 mm	240 min	240 min	240 min	221 min	221 min
Sem carregamento	S1	1 cm	1 cm	00 mm	25 mm	240 min	240 min	240 min	131 min	131 min
	S2	1 cm	1 cm	15 mm	25 mm	240 min	240 min	240 min	208 min	208 min
	S3	1 cm	1 cm	25 mm	25 mm	240 min	240 min	240 min	240 min	240 min

Fonte: ITT Performance, 2016.

A partir da Tabela 21 pode-se verificar que, com exceção da amostra C1 que sofreu perda de estabilidade, o fator determinante para a definição do TRRF foi o isolamento térmico.

Com os resultados obtidos nos ensaios, pode-se perceber que a presença de carregamento e a espessura do revestimento influem diretamente na resistência ao fogo da alvenaria, observou-se que a única amostra que sofreu perda de estabilidade foi aquela sem revestimento interno e com aplicação de carga. Além disso, as amostras que sofreram a aplicação de carga sofreram deslocamento, devido à perda da face do alvéolo dos blocos (ITT PERFORMANCE, 2016).

4.1.5 Ensaios de paredes de alvenaria cerâmica com e sem carregamento

Foram compilados na Tabela 25 no Anexo D ensaios realizados com blocos estruturais cerâmicos submetidos a altas temperaturas, com e sem carregamento, das cerâmicas Pauluzzi, Cerâmica City, Contrurohr, Cerâmica Candelária, Cerâmica Roque, Selecta e Barrobelo, desenvolvidos ora pelo ITT ora pelo IPT. Os ensaios apresentam diversidade nos revestimentos dos lados expostos e não expostos ao fogo, nos tipos de argamassa de assentamento, e nas características dos blocos, resistência a compressão e dimensões, o que garantiu uma espessura final diferente para cada amostra.

4.1.5.2 Ensaio de paredes sem carregamento

As paredes sem carregamento foram ensaiadas conforme NBR 10636:1989, sendo constituídas por blocos de espessura de 11,5, 14 ou 19cm, a espessura da junta de assentamento dos mesmos oscilou entre 1 e 2cm.

Das 13 paredes ensaiadas sem carregamento 8 sofreram perda de isolamento térmico durante o período de ensaio e o restante alcançou o tempo predefinido de Resistência ao Fogo sem que ocorresse a falha de nenhum dos critérios de isolamento térmico, estanqueidade e resistência mecânica.

Nguyen e Meftah (2012) citado por Leite (2018) realizaram o ensaio de duas paredes de alvenaria cerâmica, sem carregamento e sem revestimento, com espessuras de 10cm e 20cm e largura e altura de 3m. A parede de 10cm de espessura teve a perda do critério de isolamento térmico aos 43 minutos de ensaio, já a parede de 20cm sofreu um lascamento explosivo aos 20 minutos de ensaio, o qual iniciou-se na porção central da amostra e espalhou-se uniformemente em 15 minutos, tendo o ensaio finalizado aos 104 minutos devido à perda de isolamento térmico. A Figura 32 demonstra o lascamento generalizada sofrido pela amostra.

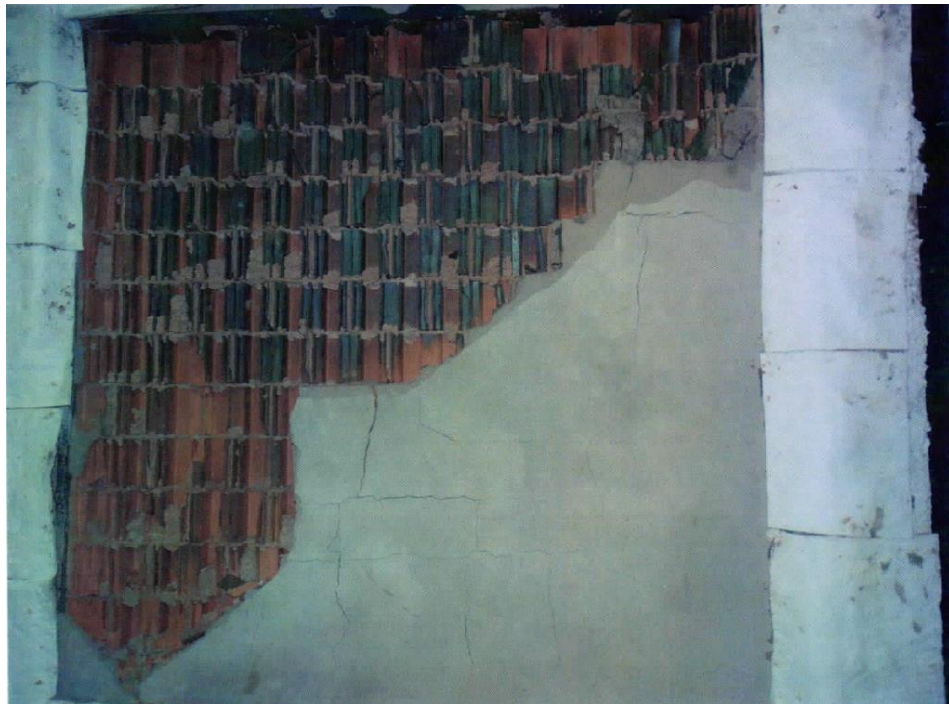
Figura 32 – Lascamento generalizado da face exposta ao fogo da parede de 20cm



Fonte: Nguyen e Meftah (2012) citado por Leite (2018)

Nos ensaios sem carregamento das cerâmicas pode-se perceber a presença do lascamento explosivo em 4 amostras, das quais todas sofreram perda de isolamento térmico durante o período de ensaio. A Figura 33 mostra o resultado de uma parede constituída de blocos de espessura de 14cm e revestimento em ambas as faces de 2,5cm de argamassa, totalizando uma espessura de 19cm, ao final de 90 minutos de ensaio.

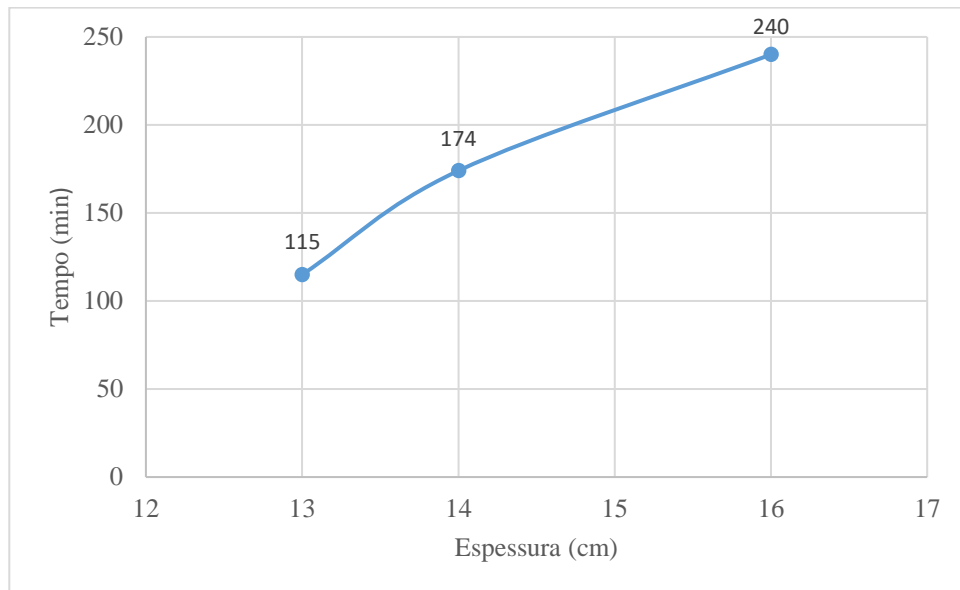
Figura 33 – Lascamento explosivo da face exposta ao fogo da parede de 19cm



Fonte: Relatório de ensaio N° 1074 877-203/2015.

Ensaio em paredes de alvenaria sem carregamento para a verificação do isolamento térmico, foram desenvolvidos por Rosemann, o qual alternou a utilização de revestimento externo de argamassa e o preenchimento dos furos das amostras com areia. A amostra com revestimento externo apresentou um aumento de 80% na resistência ao fogo, e aquela com preenchimento de areia obteve um aumento de 100%, sendo assim as duas alternativas citadas foram consideradas boas para ocasionar o aumento da resistência das paredes (ROSEMAN, 2011 citado por LEITE, 2018).

O aumento da resistência devido a adição de revestimento pode ser visualizado no Gráfico 3, onde foram comparadas três amostras de paredes submetidas ao ensaio de fogo, todas com bloco de 11,5cm de espessura, alterando somente a espessura do revestimento interno e externo e o material utilizado para o mesmo, resultando em espessuras finais diferentes.

Gráfico 3 – Espessura X Tempo de resistência ao fogo de paredes sem carregamento

Fonte: autora, 2020.

Ao observar o gráfico podemos verificar a influência do revestimento no aumento do tempo de resistência ao fogo das amostras, a parede com espessura final de 13cm, constituída de blocos de 11,5cm sem revestimento na face exposta ao fogo e com 1,5 cm de revestimento de argamassa na não exposta, obteve um tempo de 115 minutos enquanto a amostra com 2cm de argamassa na face exposta e 2,5cm na não exposta obteve o valor de 240 minutos.

4.1.5.1 Ensaios de paredes com carregamento

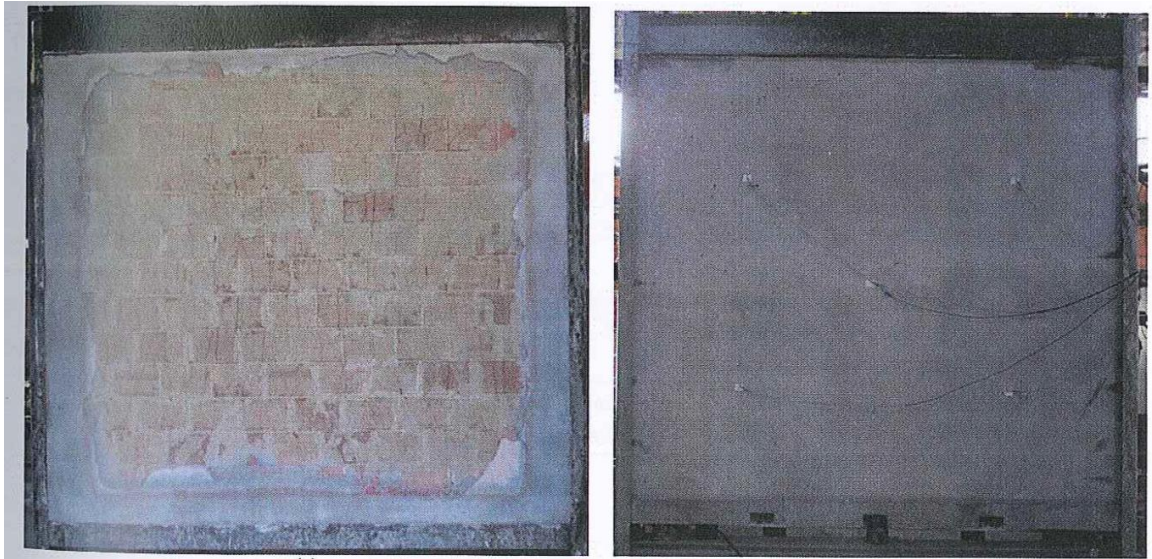
As paredes com carregamento foram ensaiadas conforme NBR 5628:2001, sendo constituídas por blocos de espessura de 14 ou 19cm, a espessura da junta de assentamento foi de 1cm. O carregamento utilizado nos ensaios oscila de 8 a 24tf/m, uma vez que não há padrão de carga de ensaio definido em normativas brasileiras.

Das 10 paredes ensaiadas com carregamento 2 sofreram a perda de algum critério de resistência durante o período de ensaio, uma apresentou falha no isolamento térmico e a outra sofreu colapso estrutural.

A amostra que apresentou falha no isolamento térmico foi constituída por blocos cerâmicos de 10MPa de resistência e espessura de 14cm, com revestimento de argamassa de 1cm na face exposta e de 2cm na não exposta ao fogo, totalizando uma espessura de 17cm e recebeu a aplicação de um carregamento de 10tf/m.

A falha ocorreu após 139 minutos de ensaio, quando o limite de temperatura média dos termopares na face não exposta ao fogo foi superado. A face exposta ao fogo após o final do ensaio aponta que houve a queda do revestimento de argamassa, porém o bloco não foi afetado, visualmente, conforme pode ser observado na Figura 34.

Figura 34 – Aspecto da face exposta ao fogo depois e antes do ensaio

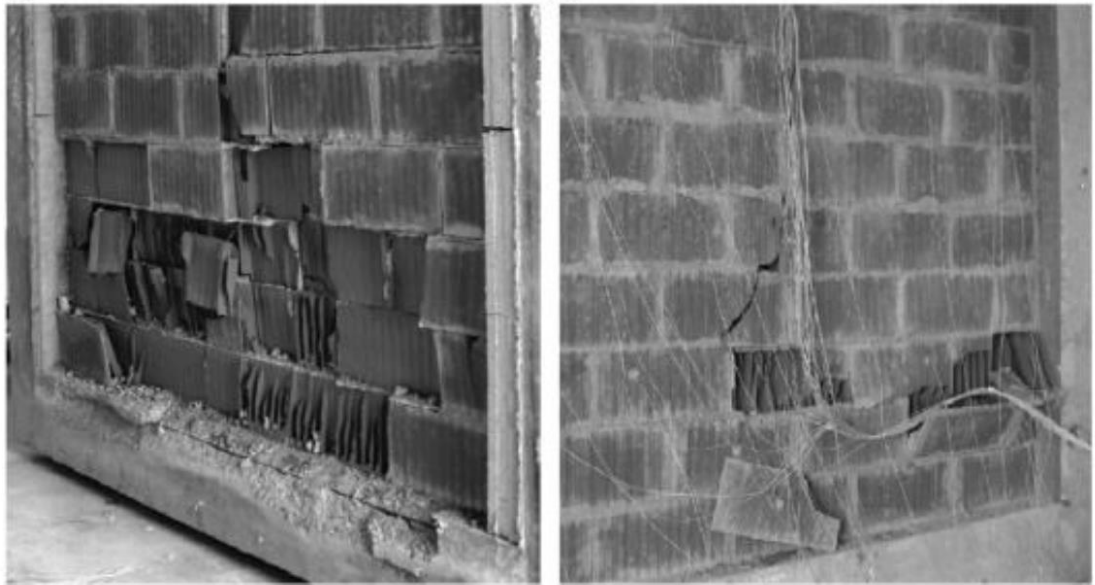


Fonte: Relatório de ensaio N° 1480/2016.

Nguyen e Meftah (2012) citado por Leite (2018) também realizaram ensaios com carregamento de duas paredes de alvenaria cerâmica, sem revestimento, com largura e altura de 3m e espessura de 20cm, alterando somente o carregamento aplicado em cada uma, sendo de 130kN/m (aproximadamente 13,3tf/m) na primeira e 90kN/m (aproximadamente 9,2 tf/m) na segunda.

Nos ensaios a parede mais carregada perdeu sua estabilidade após 136 minutos, mas antes disso, após 15 minutos do início do ensaio, visualizou-se o início do lascamento explosivo na sua porção inferior, o mesmo lascamento pôde ser observado na face não exposta ao fogo, porém o critério de isolamento não foi atingido. A Figura 35 mostra os locais onde ocorreram os lascamentos explosivos na face exposta, figura da esquerda, e na face não exposta, figura da direita.

Figura 35 – Lascamento explosivo da parede de 20cm com carregamento de 130kN/m



Fonte: Nguyen e Meftah (2012) citado por Leite (2018)

A parede menos carregada sofreu colapso aos 60 minutos de ensaio, devido a um lascamento explosivo que estendeu-se através de sua espessura. A única diferença entre as duas amostras era a espessura da junta, a parede com a junta mais fina colapsou antes, mesmo recebendo um carregamento menor. Sendo assim, para o autor, o fator determinante para a definição da resistência ao fogo de paredes grossas estruturais é a perda da estabilidade estrutural, que ocorre devido aos lascamentos explosivos, os quais são ainda mais ascentuados quando as juntas de assentamento dos blocos forem finas, causando antes da perda da estabilidade estrutural, a perda da estanqueidade da parede (NGUYEN E MEFTAH, 2012 citado por LEITE, 2018).

Esse fenômeno pode ser observado no relatório da parede das cerâmicas que sofreu colapso estrutural durante o período de ensaio, a mesma foi constituída de blocos de 6MPa de resistência e 14 cm de espessura, com revestimento de gesso somente na face exposta ao fogo, de 0,5cm, totalizando 14,5cm de espessura, a carga utilizada no ensaio foi de 10tf/m.

A amostra apresentou colapso aos 58 minutos de ensaio, a Figura 36 mostra a face não exposta ao fogo após o final do ensaio, onde pode-se observar que ocorreu um lascamento explosivo na porção inferior da amostra, da mesma forma descrita nos ensaios com carregamento de Nguyen e Meftah.

Figura 36 – Face não exposta ao fogo após o término do ensaio



Fonte: Relatório de ensaio N° 1826/2017.

Todos os ensaios com carregamento desenvolvidos pelo ITT Performance e pelo IPT procedem com a reaplicação de carga 24 horas depois do ensaio nos casos em que todos os requisitos foram mantidos, conforme previsto pela NBR5628:2001, e em nenhum dos ensaios houve perda de resistência das paredes. Porém, vale ressaltar que em incêndios reais geralmente a extinção do fogo se dá pela interferência humana com a utilização de água que, conforme Ingham (2009) citado por Leite (2018), pode causar o colapso das paredes de alvenaria, uma vez que o choque térmico causa redução do material, fazendo com que ocorra uma enérgica fissuração na parede, colaborando para o seu colapso.

De acordo com Ingham (2009) citado por Leite (2018), os danos a resistência a compressão de uma parede de alvenaria estrutural podem ser percebidos após os 300 °C, devido a deterioração da argamassa de assentamento, entre 600 °C e 800°C a resistência à compressão da maioria das rochas e argamassas é comprometida severamente.

De acordo com Bailey (2004) citado por Leite (2018) o colapso de paredes de alvenaria em situação de incêndio pode ocorrer devido aos carregamentos gerados pelas deformações, dessa forma, resultados em paredes menores que 3 metros não devem ser extrapolados para paredes maiores, uma vez que a última colapsaria antes devido ao maior deslocamento gerado a meia-altura.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O advento da Norma de Desempenho, junto a grande gama de construções residenciais sendo desenvolvidas em alvenaria estrutural no Brasil, aumentou a necessidade de entendermos o comportamento desse sistema em situação de incêndio, de forma a cumprirmos os requisitos de segurança, sustentabilidade e habitabilidade.

Não há histórico de qualquer edificação em alvenaria estrutural, a nível mundial, que tenha sofrido colapso devido a um incêndio, sendo assim, o sistema construtivo mostrou-se eficaz no passar do tempo, sendo nossa responsabilidade esclarecer quais parâmetros levaram a esses resultados.

Procedimentos para a verificação da resistência mecânica, estanqueidade e isolamento térmico, a serem adotados no dimensionamento de elementos estruturais em situação de incêndio, devem ser desenvolvidos baseados nas normativas já existentes sobre o assunto, considerando aquilo que pode ser aplicado a realidade do Brasil.

As normativas americanas apresentam duas formas mais usuais para o dimensionamento da alvenaria estrutural em situação de incêndio, procedendo o ensaio de uma amostra, em dimensões e parâmetros reais, ou a partir de tabelas de espessuras mínimas.

De acordo com Leite (2018), as tabelas disponibilizadas pelo ACI/TMS são bem completas se considerarmos os critérios de isolamento térmico e estanqueidade, porém insuficientes no item resistência mecânica, uma vez que considera somente os tipos de agregados utilizados nos blocos e os diferentes tipos de acabamentos aplicados as paredes.

O padrão de ensaio definido pela ASTM também é impreciso quanto ao carregamento, pois considera que devesse utilizar a carga máxima do projeto estrutural para a realização do ensaio, sendo necessário realizar o ensaio de uma parede sempre que um novo projeto fosse desenvolvido.

As normativas europeias apresentam variadas formas de determinação da resistência ao fogo de paredes de alvenaria estrutural, sendo considerada a normativa mais completa, visto que, de acordo com Leite (2018), nas tabelas disponibilizadas para o dimensionamento pelo método tabular é considerado os 4 critérios de resistência, estabilidade, estanqueidade, isolamento térmico e impacto mecânico. Quanto aos materiais de acabamento a norma deixa a desejar se comparada com a americana, uma vez que somente considera um intervalo de espessura para o caso da utilização de material de acabamento conforme a norma, não diferenciando os materiais utilizados para tal.

O método analítico proposto pela normativa também é inequívoco, sendo similar ao que é desenvolvido para o concreto armado, porém para sua utilização são necessárias isotermas dos blocos empregados, que devem ser obtidas em ensaio ou por modelos numéricos (LEITE, 2018), as quais são responsáveis por delimitar a seção ineficaz da parede, gerando uma seção residual a qual deve ser verificada no Estado Limite Último (ELU). O método de ensaio do Eurocode diferencia-se dos outros aqui citados por especificar os carregamentos que devem ser utilizados nos ensaios.

O projeto de pesquisa desenvolvido pelo ITT Performance demonstrou que as deformações obtidas por paredes sem carga são maiores que as das paredes com carga, devido a dupla curvatura sofrida pela primeira, a qual não possui restrição da borda superior e inferior. Já a temperatura verificada nas faces não expostas foi maior no caso das paredes com carregamento, acarretando em um menor tempo de isolamento térmico para essas.

A temperatura utilizada nos ensaios brasileiros, conforme NBR 5626:2001, é de acordo com a curva padrão de temperatura-tempo, mesmo essa não sendo uma curva que de fato mostre a realidade de um incêndio, como a curva parametrizada do Eurocode que considera características do ambiente e dos materiais empregados como revestimento, ela ainda é válida de forma a universalizar o modelo de ensaio.

A partir dos ensaios das cerâmicas, pode-se observar que a presença de revestimento nas duas faces da parede aumenta o tempo de resistência ao fogo da mesma, e o revestimento na face não exposta é de grande importância para retardar o lascamento explosivo e evitar a perda da resistência ao fogo por perda de estabilidade.

O isolamento térmico, como percebemos em alguns ensaios das cerâmicas citadas e do projeto de pesquisa do ITT Performance, é a principal característica para a determinação da resistência ao fogo de uma parede, e para atender esse requisito a espessura do conjunto e a presença de revestimento nas duas faces se mostraram indispensáveis para o aumento do tempo de isolamento térmico e, conseqüentemente, da resistência ao fogo.

A partir dos ensaios realizados por Nguyen e Meftah, pode-se observar que o lascamento explosivo tende a ser generalizado nas paredes sem carregamento, iniciando-se na sua porção central, local onde verifica-se as maiores deformações, se visualizarmos os ensaios desenvolvidos no projeto de pesquisa do ITT Performance, resultado que pode ser explicado devido a dupla curvatura que essas paredes sofrem ao se deformarem.

Quanto à manutenção da resistência mecânica, nada pode-se concluir dos resultados obtidos nos ensaios realizados no Brasil, uma vez que as cargas utilizadas independem da capacidade de suporte das paredes, opondo-se ao que propõem as normas europeias e

americanas. Além disso, os ensaios foram finalizados sempre que atenderam o TRRF proposto, não sendo possível verificar qual critério falharia primeiro, a indicação é que esses ensaios sejam realizados até que haja a falha de algum dos requisitos.

Partindo do pressuposto que as estruturas trabalham como um todo, redistribuindo as tensões quando ocorre a falha de parte do sistema, conclui-se que os ensaios são realizados em condições bastante extremas, as quais não refletem a realidade, sendo assim, a carga a ser utilizada deve buscar uma padronização existente na capacidade de carga dos blocos, porém não é possível extrapolar os valores a serem utilizados, pois tornaria o ensaio inviável.

No Brasil, atualmente, existem 3 laboratórios capazes de desenvolverem ensaios de paredes em situação de incêndio, o ITT, o IPT e o Laboratório de Furnas Centrais Elétricas S.A., localizado em Goiânia-GO, visto que o número de laboratórios é limitado, deve-se estudar a viabilidade de ensaios em outros laboratórios do país.

O ensaio de paredes carece de um alto valor monetário para o seu desenvolvimento, sendo assim, o comitê responsável pela elaboração da NBR 16.868 – 4 – Alvenaria estrutural em condição de incêndio deve preconizar itens afim de padronizar o método de ensaio, além de estudar a praticabilidade de desenvolver ensaios em pequenas paredes, de forma a parametrizar as mesmas em relação as paredes em escala real.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. *ACI/TMS 216.1-14*: Code requirements for determining fire resistance of concrete and masonry construction assemblies. Farmington Hills, 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *ASTM E 119-14*: Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. *Brasil é referência mundial em alvenaria estrutural*. Paraná, 2013. Disponível em: <<https://abcp.org.br/imprensa/banco-de-pautas/brasil-e-referencia-mundial-em-alvenaria-estrutural/>>. Acesso em: 19 set. 2019

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15575-4*: Edificações habitacionais – Desempenho Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro, 2013.

_____. *NBR 14432*: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento. Rio de Janeiro, 2001.

_____. *NBR 14974-1*: Bloco de sílico-calcário para alvenaria Parte 1: Requisitos, dimensões e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2003.

_____. *NBR 14974-1*: Bloco sílico-calcário para alvenaria Parte 1: Requisitos, dimensões e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2003.

_____. *NBR 14974-2*: Bloco de sílico-calcário para alvenaria Parte 2: Procedimentos para execução de alvenaria. Rio de Janeiro, 2003.

_____. *NBR 15220-1*: Desempenho térmico de edificações Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005.

_____. *NBR 15220-2*: Desempenho térmico de edificações Parte 2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2008.

_____. *NBR 15270-1*: Componentes cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2017.

_____. *NBR 15270-2*: Componentes – Blocos e tijolos para alvenaria Parte 2: Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2017.

_____. *NBR 15575-1*: Edificações habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

_____. *NBR 15812-1: Alvenaria estrutural – Blocos cerâmicos Parte 1: Projetos*. Rio de Janeiro, 2010.

_____. *NBR 15812-2: Alvenaria estrutural – Blocos cerâmicos Parte 2: Execução e controle de obras*. Rio de Janeiro, 2010.

_____. *NBR 15812-3: Alvenaria estrutural – Blocos cerâmicos Parte 3: Métodos de ensaio*. Rio de Janeiro, 2017.

_____. *NBR 15961-1: Alvenaria estrutural – Blocos de concreto Parte 1: Projeto*. Rio de Janeiro, 2011.

_____. *NBR 15961-2: Alvenaria estrutural – Blocos de concreto Parte 2: Execução e controle de obras*. Rio de Janeiro, 2011.

_____. *NBR 15961-2: Alvenaria estrutural – Blocos de concreto Parte 2: Execução e controle de obras*. Rio de Janeiro, 2011.

_____. *NBR 5628: Componentes construtivos estruturais – Determinação da resistência ao fogo*. Rio de Janeiro, 2001.

_____. *NBR 6136: Bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural*. Rio de Janeiro, 2016.

_____. *NBR 9442: Materiais de construção – Determinação do índice de propagação superficial de chama pelo método do painel radiante*. Rio de Janeiro, 2019.

_____. *NBR13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão*. Rio de Janeiro, 2005.

_____. *NBR10636: Paredes divisórias sem função estrutural - Determinação da resistência ao fogo - Método de ensaio*. Rio de Janeiro, 1989.

BAUER, L. A. F. *Materiais de construção*. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

BRITISH STANDARD. *BS EN 13823: Reaction to fire tests for building products - Building products excluding floorings exposed to the thermal attack by a single burning item*. 2002.

BRENTANO, T. *A proteção contra incêndios no projeto de edificações*. 3. ed. Porto Alegre: Edição do autor, BRENTANO 2015.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. *Desempenho das edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013*. Fortaleza: 2013.

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

CREDER, Hélio. *Instalações Hidráulicas e Sanitárias*. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

EUROPEAN COMITTEE FOR STANDARDIZATION BASIS OF DESIGN AND ACTIONS STRUCTURES. *EUROCODE 1: Actions on structures exposed to fire - Part 2-2*. Bruxelas, 2002.

_____. *EUROCODE 6: Design of masonry structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design*. Bruxelas, 2005.

EUROPEAN STANDARD. *EN 1365-1: Fire resistance tests for loadbearing elements. Walls*. Bruxelas, 2012.

EUROPEAN STANDARD. *EN 1363-1: Fire Resistance Tests - Part 1: General Requirements*. Bruxelas, 2012.

INSTITUTO ITT PERFORMANCE. *Resistência ao fogo das paredes estruturais com função de compartimentação*. São Leopoldo: 2016.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. *Sobre o IPT*. São Paulo:2019. Disponível em: <<https://www.ipt.br/institucional>>. Acesso em: 01 nov.2019.

INTERNATIONAL STANDARDIZATION FOR ORGANIZATION. *ISO 834: Fire resistance tests – Elements of bulding construction*. Geneva, 1994.

KAEFER, E.C.; SILVA, V.P. *Análise paramétrica de um incêndio conforme o novo eurocode 1*. São Paulo: 2013.

LABORATÓRIO DE SEGURANÇA AO FOGO E A EXPLOSÕES (CETAC). *Relatório de ensaio nº 1 057 632-203*. São Paulo, 2014.

LEITE, Helena Arias Lara. *Alvenaria estrutural em situação de incêndio – proposta de avaliação com vistas à normatização*. 2018. Dissertação (Programa de pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018.

LEITE, H. A. L, JUNIOR, A. L. M, TORRES, D. L. *Dimensionamento da alvenaria estrutural em situação de incêndio: contribuição à futura normatização nacional*. São Paulo, 2015.

MELÃO, A.R.; SILVA, V.P. *Equivalência entre incêndio-padrão e curvas paramétricas aplicados a estruturas de aço*. São Paulo: 2014.

MOHAMAD, G.; MACHADO, D. W. N.; JANTSCH, A. C. A. *Alvenaria estrutural: construindo o conhecimento*. São Paulo: Blucher, 2017.

OLIVEIRA, Carlos A. G. *Física* (livro eletrônico). Curitiba: Intersaberes, 2017.

PARSEKIAN, G. A.; HAMID, A. A.; DRYSDALE, R. G. *Comportamento e dimensionamento de alvenaria estrutural*. São Carlos: EdUFSCar, 2012.

POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Instrução Técnica nº08: Segurança Estrutural contra Incêndio*. São Paulo, 2018.

_____. *Decreto nº 56.819*. São Paulo, 2011.

_____. *Instrução Técnica nº02: Conceitos básicos de segurança contra incêndio*. São Paulo, 2018.

_____. *Instrução Técnica nº09: Compartimentação horizontal e compartimentação vertical*. São Paulo, 2018.

_____. *Instrução Técnica nº10: Controle de materiais de acabamento e revestimento*. São Paulo, 2018.

QUALY TESTE. *Triângulo do Fogo – Conceitos básicos*. Disponível em: <<http://www.qualityteste.com.br/artigos/tri%C3%A2ngulo-do-fogo-conceitos-b%C3%A1sicos>>. Acesso em: 03 ago. 2019.

RIGÃO, A. O. *Comportamento de pequenas paredes de alvenaria estrutural frente a altas temperaturas*. 2012. Dissertação (Programa de pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

SÁNCHEZ, E. *Nova normalização brasileira para alvenaria estrutural*. Rio de Janeiro: Interciência, 2013.

TAUIL, C. A.; NESE, F. J. M. *Alvenaria Estrutural*. São Paulo: Pini, 2010.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. *Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas*. Florianópolis: 2011.

SILVA, M. L., CORRÊA, C., OLIVEIRA, R. A. O. *Risco de colapso em caso de incêndio em edifícios de alvenaria resistente do tipo “prédio caixaão”*. Pernambuco: Revista Flammae, 2015.

ANEXO A – Tabela

Tabela 22 – Classificação das edificações de acordo com o seu uso

Grupo	Ocupação/Uso	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
B	Serviço de Hospedagem	B-1	Hotel e assemelhado	Hotéis, motéis, pensões, hospedarias, pousadas, albergues, casas de cômodos, divisão A-3 com mais de 16 leitos
		B-2	Hotel residencial	Hotéis e assemelhados com cozinha própria nos apartamentos (incluem-se <i>apart-hotéis</i> , <i>flats</i> , hotéis residenciais)
C	Comercial	C-1	Comércio com baixa carga de incêndio	Artigos de metal, louças, artigos hospitalares e outros
		C-2	Comércio com média e alta carga de incêndio	Edifícios de lojas de departamentos, magazines, armazéns, galerias comerciais, supermercados em geral, mercados e outros
		C-3	Shopping centers	Centro de compras em geral (<i>shopping centers</i>)
D	Serviço profissional	D-1	Local para prestação de serviço profissional ou condução de negócios	Escritórios administrativos ou técnicos, instituições financeiras (que não estejam incluídas em D-2), repartições públicas, cabeleireiros, centros profissionais e assemelhados
		D-2	Agência bancária	Agências bancárias e assemelhados
		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	Educativa e cultura física	E-1	Escola em geral	Escolas de primeiro, segundo e terceiro graus, cursos supletivos e pré-universitário e assemelhados
		E-2	Escola especial	Escolas de artes 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 práticas de artes marciais, natação, ginástica (artística, dança, musculação e outros) esportes coletivos (tênis, futebol e outros que não estejam incluídos em F-3), sauna, casas de fisioterapia e assemelhados. Sem arquibancadas.
		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 deficiências	Escolas para excepcionais, deficientes visuais e auditivos e assemelhados

Fonte: Decreto 56819:2011.

Tabela 23 – Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF)

Grupo	Ocupação/Uso	Divisão	Profundidade do subsolo h_s		Altura da edificação h							
			Classe S_2	Classe S_1	Classe P_1	Classe P_2	Classe P_3	Classe P_4	Classe P_5	Classe P_6	Classe P_7	Classe P_8
			$h_s > 10m$	$h_s \leq 10m$	$h \leq 6m$	$6m < h \leq 12m$	$12m < h \leq 23m$	$23m < h \leq 30m$	$30m < h \leq 80m$	$80m < h \leq 120m$	$120m < h \leq 150m$	$150m < h \leq 250m$
A	Residencial	A-1 a A-3	90	60	30	30	60	90	120	120	150	180
B	Serviços de hospedagem	B-1 e B-2	90	60	30	60	60	90	120	150	180	180
C	Comercial varejista	C-1	90	60	60	60	60	90	120	150	150	180
		C-2 e C-3	90	60	60	60	60	90	120	150	150	180
D	Serviços profissionais, pessoais e técnicos	D-1 a D-4	90	60	30	60	60	90	120	120	150	180
E	Educacional e cultura física	E-1 a E-6	90	60	30	30	60	90	120	120	150	180
F	Locais de reunião de público	F-1, F-2, F-5, F-6, F-8, F-10	90	60	60	60	60	90	120	150	180	-
		F-3, F-4 e F-7	90	60	Ver Item A.2.3.3.		30	60	60	90	120	-
		F-9	90	60	30	60	60	90	120	-	-	-
G	Serviços automotivos	G-1 e G-2 não abertos lateralmente e G-3 a G-5	90	60	30	60	60	90	120	120	150	180
		G-1 e G-2 abertos lateralmente	90	60	30	30	30	30	60	120	120	150
H	Serviços de saúde e Institucionais	H-1 e H-4	90	60	30	60	60	90	120	150	180	180
		H-2, H-3, H-5 e H-6	90	60	30	60	60	90	120	150	180	180
I	Industrial	I-1	90	60	30	30	30	60	120	-	-	-
		I-2	120	90	30	30	60	90	120	-	-	-
		I-3	120	90	60	60	90	120	120	-	-	-
J	Depósitos	J-1	60	30	Ver Item A.2.3.4.		30	30	60	-	-	-
		J-2	90	60	60	60	60	60	60	-	-	-
		J-3	90	60	60	60	60	120	120	-	-	-
		J-4	120	90	60	60	90	120	120	-	-	-
L	Explosivos	L-1, L-2 e L-3	120	120	120	-	-	-	-	-	-	
M	Especial	M-1	150	150	150	-	-	-	-	-	-	
		M-2	-	-	120	120	-	-	-	-	-	-
		M-5	120	90	60	60	90	120	-	-	-	-
		M-3	120	90	90	90	120	120	120	150	-	-

NOTAS:
1) Casos não enquadrados serão definidos pelo SSCI do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo;
2) O TRRF dos subsolos e sobressolos não pode ser inferior ao TRRF dos pavimentos situados acima do solo (ver Item 5.10);
3) Para Indústria ou depósito com inflamáveis, considerar I-3 e J-4, respectivamente.

Fonte: IT 08:2018.

Tabela 24 – Resistência ao fogo de paredes de alvenaria

Paredes ensaiadas (*)		Características das paredes										Resultado dos ensaios						
		Traço em volume da argamassa do assentamento			Espessura média da argamassa de assentamento (cm)	Traço em volume de argamassa de revestimento						Espessura de argamassa de revestimento (cada face) (cm)	Espessura total da parede (cm)	Duração do ensaio (min)	Tempo de atendimento aos critérios de avaliação (horas)			Resistência ao fogo (horas)
						Chapisco		Emboço							Integridade	Estanqueidade	Isolação térmica	
		Cimento	Cal	Areia		Cimento	Areia	Cimento	Cal	Areia								
Parede de tijolos de barro cozido (dimensões nominais dos tijolos) 5 cm x 10 cm x 20 cm; Massa: 1,5 kg	Meio tijolo sem revestimento	-	1	5	1	-	-	-	-	-	-	10	120	≥ 2	≥ 2	1½	1½	
	Um tijolo sem revestimento	-	1	5	1	-	-	-	-	-	-	20	395 (**)	≥ 6	≥ 6	≥ 6	≥ 6	
	Meio tijolo com revestimento	-	1	5	1	1	3	1	2	9	2,5	15	300	≥ 4	≥ 4	4	4	
	Um tijolo com revestimento	-	1	5	1	1	3	1	2	9	2,5	25	300 (**)	≥ 6	≥ 6	≥ 5	> 6	
Parede de blocos vazados de concreto (2 furos) blocos com dimensões nominais: 14 cm x 19 cm x 39 cm e 19 cm x 19 cm x 39 cm; e massas de 13 kg e 17 kg respectivamente	Bloco de 14 cm sem revestimento	1	1	8	1	-	-	-	-	-	-	14	100	≥ 1½	≥ 1½	1½	1½	
	Bloco de 19 cm sem revestimento	1	1	8	1	-	-	-	-	-	-	19	120	≥ 2	≥ 2	1½	1½	
	Bloco de 14 cm com revestimento	1	1	8	1	1	3	1	2	9	1,5	17	150	≥ 2	≥ 2	2	2	
	Bloco de 19 cm com revestimento	1	1	8	1	1	3	1	2	9	1,5	22	185	≥ 3	≥ 3	3	3	
Paredes de tijolos cerâmicos de 8 furos (dimensões nominais dos tijolos 10 cm x 20 cm x 20 cm (massa 2,9 Kg)	Meio tijolo com revestimento	-	1	4	1	1	3	1	2	9	1,5	13	150	≥ 2	≥ 2	2	2	
	Um tijolo com revestimento	-	1	4	1	1	3	1	2	9	1,5	23	300 (**)	≥ 4	≥ 4	≥ 4	> 4	
Paredes de concreto armado monolítico sem revestimento	Traço do concreto em volume, 1 cimento: 2,5 areia média: 3,5 agregado graúdo (granizo pedra nº 3): armadura simples posicionada à meia espessura das paredes, possuindo malha de lados 15 cm, de aço CA - 50A diâmetro ¼ polegada											11,5	150	2	2	1	1½	
												16	210	3	3	3	3	

(*) Paredes sem função estrutural ensaiadas totalmente vinculadas dentro da estrutura de concreto armado, com dimensões 2,8m x 2,8m totalmente expostas ao fogo (em uma face);

(**) Ensaio encerrado sem ocorrência de falência em nenhum dos 3 critérios de avaliação.

Fonte: IT 08:2018.

Tabela 25 – Ensaio de resistência ao fogo de paredes estruturais

Relatório	Dimensões bloco (cm)	Fck do bloco (MPa)	Dimensões parede (cm)	Revestimento			Espessura final parede (cm)	Carregamento (tf/m)	Corta-fogo (min)	Critério de falha
				Base	Face A (exposta ao fogo)	Face B				
COM CARREGAMENTO										
664	14x19x29	7	315x300	0,5cm chapisco 1:3	1,5cm de argamassa industrializada	1,5cm de argamassa industrializada	18	24	240	-
2221	14x19x29	18	315x300	0,5cm chapisco 1:3	3cm de argamassa industrializada	3cm de argamassa industrializada	21	9	240	-
1057 632 203	14x19x29	n/d	260x250	-	0,5cm de gesso	0,5cm de gesso	15	10	120	-
1826	14x19x39	6	315x280	-	0,5cm de gesso	-	14,5	10	58	colapso estrutural
1292	14x19x29	7	315x280	chapisco 1:3	1cm	2cm	17	8	180	-
1480	14x19x29	10	315x300	chapisco 1:4	1cm argamassa express R/A 36h	2cm argamassa express R/A 36h	17	10	139	isolamento térmico
2076	14x19x29	15	315x280	0,5cm chapisco rolado	4cm de argamassa A3	-	19	9,5	240	-
2406	14x19x39	7	300x280	chapisco 1:2	2,5cm argamassa estabilizada supermix 4MPa	2,5cm argamassa estabilizada supermix 4MPa	19	9	240	-
680	19x19x29	7	315x300	0,5cm chapisco 1:3	1,5cm de argamassa industrializada	1,5cm de argamassa industrializada	23	24	240	-
1089	19x19x29	7	315x280	0,5cm chapisco 1:3	0,5cm de argamassa	1,5cm de argamassa	22	10	240	-
SEM CARREGAMENTO										
1874	11,5x19x39	4	315x300	chapisco 1:3	0,5cm de gesso	2cm de argamassa estabilizada R/A 36h	14	0	120	isolamento térmico
2413	11,5x19x39	4	315x300	0,5cm de chapisco 1:3	2,5cm de argamassa com vermifloc	2cm de argamassa ensacada	17	0	240	-
1025 663-203	14x19x39	n/d	260x260	-	-	-	14	0	60	-
1030 405-203	14x19x39	n/d	260x260	chapisco	1,5cm de massa cimentícia 1:2:8	1,5cm de massa cimentícia 1:2:8	22	0	166	isolamento térmico
1413	14x19x29	7	315x280	chapisco	2 cm de chapisco e reboco	2 cm de chapisco e reboco	18	0	240	-
2507	14x19x39	n/d	315x275	-	1cm de gesso	-	15	0	180	isolamento térmico
768	14x19x39	n/d	315x300	0,5cm de chapisco	2cm de argamassa industrializada	2cm de argamassa industrializada	19	0	240	-
2204	14x19x39	4	315x300	chapisco 1:3	2cm de argamassa decalvada ArgaFácil	-	16	0	120	isolamento térmico
1074 877-203	14x19x39	n/d	260x260	chapisco	2,5cm de argamassa 6MPa	2,5cm de argamassa 6MPa	19	0	90	isolamento térmico
1034 129-203	19x19x39	n/d	260x260	chapisco	2,5cm de massa cimentícia 1:2:9	2,5cm de massa cimentícia 1:2:9	25	0	240	-
1642	19x19x39	5,5	315x300	chapisco 1:3	1cm de gesso	2cm de argamassa decalvada ArgaFácil	22	0	180	isolamento térmico
1658	19x19x39	5,5	315x300	chapisco 1:3	1cm de gesso	2cm de argamassa estabilizada 36h	22	0	120	isolamento térmico
1841	19x19x39	4	315x300	chapisco 1:3	0,5cm de gesso	2cm de argamassa estabilizada R/A 36h	21,5	0	90	isolamento térmico

Fonte: autora, 2020.

