

ESTIMATIVA DO TEMPO DE RESISTÊNCIA AO FOGO DE ALVENARIAS CERÂMICAS E DE CONCRETO ATRAVÉS DO MÉTODO DA ESPESSURA EQUIVALENTE

Autor: Bruno Bayer Soares (bruno.bayer@edu.pucrs.br)

Orientador: Prof. Dr./Me. Jacinto Manuel Antunes de Almeida (jacinto.almeida@pucrs.br)

Resumo

A segurança contra incêndios é crucial no projeto de edificações, assegurando a proteção de vidas e minimizando danos estruturais. Medidas como a compartimentação de ambientes e a estabilidade estrutural são fundamentais nesse contexto. O Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF) determina o período mínimo que elementos construtivos devem resistir ao fogo, enquanto o Tempo de Resistência ao Fogo (TRF) é determinado por ensaios que simulam condições reais de incêndio. A realização de ensaios laboratoriais em escala real, contudo, apresenta desafios significativos devido ao alto custo e à complexidade técnica. Este trabalho buscou estimar o TRF de paredes de vedação pelo método da espessura equivalente, comparando os valores teóricos obtidos com resultados experimentais e normativos. Observou-se que o método, embora conservador e prático, apresenta limitações, especialmente em geometrias incompletas, mas mostrou-se confiável em situações onde a segurança é prioritária. Conclui-se que o método da espessura equivalente é uma alternativa útil e acessível em cenários onde ensaios laboratoriais são inviáveis. Estudos futuros devem focar em ajustes no método, como a integração de propriedades térmicas e mecânicas, para aprimorar sua precisão e ampliar sua aplicabilidade.

Palavras-chave: Resistência ao fogo, incêndio, TRRF, TRF, método da espessura equivalente.

1 INTRODUÇÃO

A segurança contra incêndios é um aspecto crucial no planejamento e execução de edificações, tendo como objetivo principal a preservação de vidas humanas e a redução de danos materiais. Em conformidade com as normas regulamentadoras, edificações com área superior a 750 m², ou altura maior que 12 metros devem incorporar medidas mais rigorosas de segurança, como a compartimentação de ambientes. Essas medidas visam impedir a propagação do fogo entre

diferentes compartimentos e assegurar que a estrutura da edificação se mantenha estável por tempo suficiente para a evacuação dos ocupantes e o combate do incêndio.

Conforme disposto no Decreto nº 63.911, de 10 de dezembro de 2018, do Estado de São Paulo, a compartimentação é definida como uma medida de proteção incorporada ao sistema construtivo, constituída de elementos resistentes ao fogo, destinados a evitar, ou minimizar a propagação do fogo, calor e gases, interna ou externamente ao edifício, no mesmo pavimento ou em pavimentos elevados consecutivos.

O Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF) é um parâmetro normativo que define o tempo mínimo que determinados elementos construtivos, como paredes de vedação, devem resistir às condições de incêndio, mantendo suas funções de compartimentação e resistência estrutural, conforme estabelece a ABNT NBR 14432:2001. Por outro lado, o Tempo de Resistência ao Fogo (TRF) refere-se ao desempenho real desses elementos em situação de incêndio, sendo determinado por meio de ensaios experimentais em laboratório. A realização de testes em escala real, no entanto, apresenta desafios significativos, principalmente devido aos altos custos envolvidos, à necessidade de infraestrutura especializada e à complexidade técnica desses ensaios. A abordagem do TRRF e do TRF está fundamentada em normas técnicas que estabelecem critérios para segurança contra incêndios em edificações.

Os elementos estruturais, como vigas, lajes e pilares, devem atender ao TRF conforme os critérios estabelecidos pela NBR 15200 – Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio (ABNT, 2024), que estabelece os requisitos de desempenho para estruturas de concreto submetidas a altas temperaturas.

A Instrução Técnica nº 08 do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo (São Paulo, 2011) estabelece recomendações de TRRF para diferentes tipos de blocos e geometrias, mas não abrange alvenarias sem revestimento ou espessuras de 14 cm e 19 cm, o que limita as opções para projetos de segurança contra incêndios. Diversos estudos, como os de Chichierchio (1990), Thomaz e Helene (2000), Klein et al. (2004), Rosemann (2011) e Rigão (2012), foram realizados em amostras limitadas. Há, portanto, uma necessidade urgente de estudos que analisem o comportamento de sistemas de alvenaria quando expostos ao fogo, em escala real, de modo a contribuir para o desenvolvimento de modelos de dimensionamento e compará-los com os modelos existentes.

No entanto, um dos principais desafios enfrentados pelos profissionais da área reside na complexidade e nos altos custos associados à realização de ensaios em escala real para certificar os sistemas construtivos. A construção de laboratórios especializados e a execução desses testes

demandam tempo, recursos financeiros elevados e infraestrutura complexa, o que muitas vezes inviabiliza a realização em larga escala. Assim, o desenvolvimento de métodos teóricos, como o método ACI/TMS 216.1 (ACI/TMS 216.1, 2014), pode ser uma alternativa para estimar o desempenho das paredes de vedação em situações de incêndio de forma mais acessível e prática. Além disso, a crescente demanda por edificações seguras e eficientes coloca pressão sobre o setor para encontrar soluções que combinem segurança contra incêndios com custos operacionais viáveis. Este estudo justifica-se, portanto, pela relevância de avaliar uma alternativa para a estimativa do Tempo de Resistência ao Fogo (TRF) em paredes de vedação, contribuindo para a segurança das edificações e fornecendo uma base técnica para os profissionais da área.

Este estudo tem como objetivo principal realizar estimativas teóricas do tempo de resistência ao fogo de paredes de vedação, delimitado a materiais incombustíveis, por meio do método da espessura equivalente. Além disso, pretende-se comparar esses resultados com os dados experimentais obtidos em ensaios práticos de outros autores e com as normas de referência aplicáveis, oferecendo uma análise crítica do método empregado e do desempenho das alvenarias, cerâmicas e de concreto, em cenários de incêndio.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, serão abordados os principais conceitos, normas e métodos relacionados à resistência ao fogo de paredes de vedação, com o objetivo de fornecer a base teórica necessária para o desenvolvimento da pesquisa. O referencial teórico é fundamental para a compreensão dos critérios normativos e das metodologias empregadas na estimativa do Tempo de Resistência ao Fogo (TRF) e na sua comparação com resultados experimentais.

Inicialmente, serão apresentados os requisitos de segurança contra incêndio estabelecidos pelas normas brasileiras e internacionais, com ênfase no Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF) para paredes de vedação em edificações, de acordo com as exigências para diferentes tipos de ocupação e edificações com áreas ou alturas superiores a determinados limites. Em seguida, será discutido o método da espessura equivalente, amplamente utilizado para estimar o TRF de elementos construtivos, com base nas propriedades físicas e geométricas dos materiais.

No contexto de projetos, a NBR 14432 (ABNT, 2001) especifica as exigências de resistência ao fogo dos elementos construtivos das edificações, estabelecendo o chamado Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF), que varia de acordo com a altura e o uso da

edificação. Silva (2012) define o TRRF como o tempo durante o qual um sistema, com ou sem função estrutural, deve manter suas características de estabilidade, estanqueidade e isolamento térmico quando submetido a altas temperaturas. O estudo da resistência ao fogo dos sistemas construtivos foca principalmente no período pós-fashover, sendo essencial para garantir a integridade estrutural durante o incêndio. Nesse estágio, as paredes de vedação vertical começam a interagir com as chamas, o que provoca alterações nas propriedades dos materiais, especialmente na resistência mecânica (Costa & Silva, 2006).

Materiais cerâmicos são amplamente utilizados na construção civil, especialmente por seu bom desempenho frente ao fogo, devido à sua natureza incombustível (Roman, 1991). A baixa condutividade térmica desses materiais contribui para que sistemas de vedação apresentem boa resistência ao fogo (Ingham, 2009). Estudos históricos e ensaios laboratoriais corroboram o desempenho satisfatório desse material em altas temperaturas (Russo & Sciarretta, 2012), apesar das inevitáveis alterações físicas, químicas e mecânicas que ocorrem com o aquecimento (Ingham, 2009).

Contudo, o comportamento das paredes de alvenaria em situação de incêndio é uma área complexa de estudo, devido à variedade de combinações possíveis de blocos, juntas, geometrias e texturas (Russo & Sciarretta, 2012). Essas variáveis tornam o desenvolvimento de modelos e leis preditivas um desafio (Andreini et al., 2015) e dificultam a extrapolação de resultados experimentais para diferentes configurações de sistemas (Nguyen et al., 2009). Isso resulta em um número reduzido de referências e normas que abordam o tema. No Brasil, apesar da ampla utilização de alvenaria (Rosemann, 2011), poucos estudos têm sido conduzidos para compreender e aprimorar o desempenho desse sistema durante e após exposições a altas temperaturas, o que reflete na escassez de normas para projetos de sistemas construtivos em situação de incêndio.

2.1 Requisitos de segurança contra incêndio referente ao TRRF

A descoberta do fogo e a capacidade de controlá-lo foram marcos decisivos para o desenvolvimento da humanidade. No entanto, além dos benefícios proporcionados, o fogo também é um dos maiores agentes de destruição. Edificações, por conterem uma grande quantidade de materiais combustíveis, representam uma preocupação constante no que se refere à segurança contra incêndios.

Em escala global, incêndios em edificações causam, anualmente, perdas significativas, tanto de vidas quanto de patrimônio, muitas vezes irreparáveis. Esse cenário motivou estudos científicos

amplos sobre o fogo, integrando conhecimentos de física, química, comportamento humano, toxicologia e engenharia. Para mitigar os riscos, a segurança contra incêndios em edificações é regulamentada por normas e legislações específicas, que visam preservar vidas, proteger o patrimônio e minimizar danos.

As legislações vigentes estabelecem critérios rigorosos para o projeto e execução de edificações, em conformidade com diretrizes do Corpo de Bombeiros e normas técnicas brasileiras. Um dos parâmetros mais importantes é o Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF), que define o tempo mínimo que elementos construtivos, como paredes de vedação, devem resistir em situações de incêndio, garantindo a segurança estrutural e a compartimentação dos ambientes.

De acordo com a NBR 14432 (ABNT, 2001), o TRRF é especificado em função de variáveis como altura da edificação, ocupação, tipo de uso e características construtivas. Em São Paulo, essas diretrizes são complementadas pela Instrução Técnica nº 08/2019, que estabelece requisitos específicos para diferentes tipos de edificações, como residenciais, comerciais e industriais.

Tabela 1: Tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF)

Grupo	Ocupação/Uso	Divisão	Profundidade do subsolo h_s		Altura da edificação h					
			Classe S ₂ $h_s > 10m$	Classe S ₁ $h_s \leq 10m$	Classe P ₁ $h \leq 6m$	Classe P ₂ $6m < h \leq 12m$	Classe P ₃ $12m < h \leq 23m$	Classe P ₄ $23m < h \leq 30m$	Classe P ₅ $30m < h \leq 80m$	Classe P ₆ $80m < h \leq 120m$
A	Residencial	A-1 a A-3	90	60	30	30	60	90	120	120
B	Serviços de hospedagem	B-1 e B-2	90	60	30	60	60	90	120	150
C	Comercial varejista	C-1	90	60	60	60	60	90	120	150
		C-2 e C-3	90	60	60	60	60	90	120	150
D	Serviços profissionais, pessoais e técnicos	D-1 a D-4	90	60	30	60	60	90	120	120
E	Educacional e cultura física	E-1 a E-6	90	60	30	30	60	90	120	120
F	Locais de reunião de público	F-1, F-2, F-5, F-6, F-8, F-10 e F-11	90	60	60	60	60	90	120	150
		F-3, F-4 e F-7	90	60	Ver item A.2.3.3.		30	60	60	90
		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
		G-1 e G-2 abertos lateralmente	90	60	30	30	30	30	60	120

(fonte: IT 08, 2019)

A Tabela 1 apresentada acima, extraída da Instrução Técnica nº 08 do CBMSP, detalha os tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF) para diferentes ocupações e classes de edificações. Ela serve como referência para projetistas e engenheiros no cumprimento das exigências normativas, garantindo a segurança estrutural e a proteção contra incêndios.

Edificações mais altas ou com maior densidade ocupacional exigem tempos de resistência ao fogo mais elevados para garantir a integridade da estrutura e permitir que os ocupantes tenham tempo suficiente para evacuar o local em segurança. Por exemplo, para edificações com altura superior a 12 metros, a legislação em São Paulo exige um TRRF mínimo de 120 minutos para elementos de vedação vertical, como as paredes de alvenaria.

Além disso, o TRRF é fundamental para assegurar que as paredes e demais elementos construtivos mantenham suas características de isolamento térmico e estanqueidade durante o incêndio, evitando a propagação do fogo entre compartimentos e contribuindo para a proteção das vias de fuga. Esses requisitos são estabelecidos de acordo com o tipo de uso da edificação, sendo mais rigorosos em locais de grande circulação de pessoas, como hospitais, escolas e centros comerciais. A Instrução Técnica nº 08 do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo (CBMSP, 2019) é um dos principais documentos que orienta o cumprimento das exigências de resistência ao fogo no estado. Ela estabelece, entre outros parâmetros, o TRRF necessário para diferentes tipos de elementos construtivos, incluindo paredes de alvenaria de vedação, tetos e estruturas de sustentação. Esta instrução também contempla a utilização de materiais resistentes ao fogo e sistemas passivos de proteção, como o uso de revestimentos e isolamento térmico, para aumentar o tempo de resistência dos elementos.

O Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF) é um parâmetro normativo que define o tempo mínimo que determinados elementos construtivos, como paredes, vigas, lajes e pilares, devem resistir às condições de incêndio, garantindo a compartimentação e a estabilidade estrutural da edificação. Por outro lado, o Tempo de Resistência ao Fogo (TRF) refere-se ao desempenho real desses elementos em situações de incêndio, sendo determinado por meio de ensaios experimentais em laboratório.

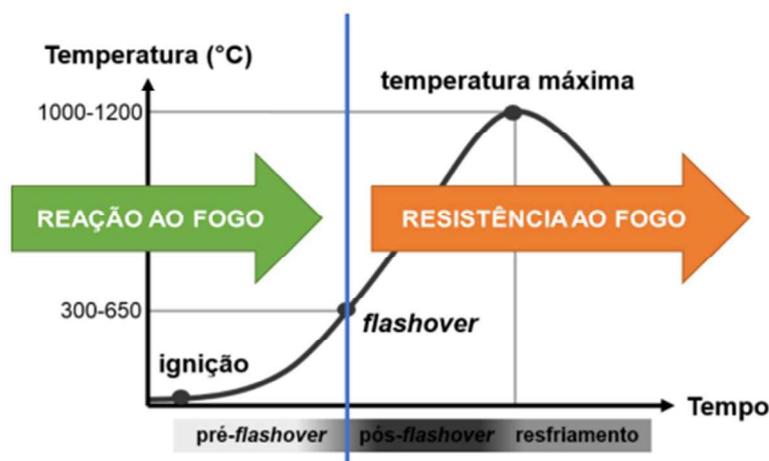
Os elementos estruturais, como vigas, lajes e pilares, devem atender ao TRF conforme os critérios estabelecidos pela norma técnica ABNT NBR 15200 – Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio, que estabelece os requisitos de desempenho para estruturas de concreto submetidas a altas temperaturas. A abordagem do TRRF e do TRF é complementada por normas técnicas que especificam critérios de segurança contra incêndios em edificações. Uma referência normativa adicional é a Instrução Técnica nº 08 (IT 08), elaborada pelo Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo. Esta norma define os requisitos para a resistência ao fogo de elementos construtivos e estabelece o TRRF como o tempo mínimo necessário para que esses elementos mantenham suas funções durante um incêndio, de modo a proporcionar segurança aos ocupantes e estabilidade à estrutura da edificação.

O incêndio é definido pela NBR 13860 (ABNT, 1997) como o “fogo fora de controle”, e seu desenvolvimento depende de diversos fatores, como as características do material que sofreu ignição, o comportamento dos materiais próximos, sua distribuição no ambiente, bem como a ventilação e a geometria do local onde o incêndio teve início. As principais manifestações desse fenômeno são a produção de calor, fumaça e chama (Costa, 2008).

2.2 Resistência ao fogo

No âmbito da segurança contra incêndio, dois aspectos principais são estudados: a reação ao fogo e a resistência ao fogo. A resistência ao fogo refere-se à fase em que o flashover é alcançado, momento em que o controle sobre o incêndio é perdido, mas a estrutura da edificação ainda mantém sua integridade. Esse fator é crucial, pois permite que a edificação continue a oferecer proteção durante o incêndio, garantindo tempo suficiente para a evacuação dos ocupantes e a realização das operações de resgate (Purkiss et al., 2010; Wang et al., 2013). Em outras palavras, a resistência ao fogo é avaliada após o ponto de inflamação generalizada (pós-flashover), quando o incêndio já está em pleno desenvolvimento, conforme simplificado na Figura 1.

Figura 1: Ensaio de Desempenho de Segurança contra incêndio



(fonte: Costa, 2008)

Do ponto de vista da segurança contra incêndios, os elementos de construção geralmente desempenham três funções principais:

- Suporte estrutural;
- Compartimentação dos espaços;
- Suporte e compartimentação simultaneamente.

Os critérios fundamentais utilizados para avaliar a resistência ao fogo desses elementos são:

- Capacidade de suporte de carga (indicada por R);
- Estanqueidade contra a passagem de chamas e gases quentes (representada por E);
- Isolamento térmico (designado por I).

O Tempo de Resistência ao Fogo (TRF) é medido pelo intervalo entre o início de um processo térmico normatizado, representado pela curva padrão de incêndio, e o momento em que os elementos estruturais não conseguem mais manter sua capacidade de suporte (Fernandes, 2008). Para estruturas de concreto, o TRF pode ser determinado por meio de ensaios em escala real, conforme recomendado no fib Bulletin No. 38 (FIB, 2007), ou por métodos tabulares previamente estabelecidos.

Os ensaios têm como objetivo avaliar o desempenho ao fogo dos elementos estruturais quando submetidos ao aumento de temperatura definido pela norma ISSO 834 – “Ensaio de resistência ao fogo – Elementos de construção”. Durante o ensaio, são analisadas características como isolamento térmico, estanqueidade aos gases e resistência mecânica, para verificar o potencial de compartimentação dos elementos ao longo desse período. As normas que padronizam a condução desses ensaios, de acordo com o tipo de elemento estrutural, estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2: Normativas nacionais que parametrizam o Ensaio de Resistência ao Fogo

Norma	Objeto
ABNT NBR 10636:1989	Paredes divisórias sem função estrutural - Determinação da resistência ao fogo
ABNT NBR 5628:2001	Componentes construtivos estruturais - Determinação da resistência ao fogo
ABNT NBR 14432:2001	Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento

(fonte: AUTOR, 2024)

Já entre os métodos teóricos tabulares, o método do código norte-americano, ACI/TMS 216.1, é um dos mais empregados. Ele considera três equações e três tabelas, que permitem estimar um valor de espessura efetiva para a unidade (bloco) e para os revestimentos da parede.

Além disso, os requisitos de resistência ao fogo e os resultados de ensaios são apresentados de forma prática na Tabela 3, que ilustra os desempenhos de diferentes paredes ensaiadas, com detalhes das características geométricas e do desempenho térmico.

Tabela 3: Tabela de resistência ao fogo para alvenaria (TRF)

Paredes ensaiadas		Características das paredes		Resultado dos ensaios				
		Espessura 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)
					Integridade	Estanqueidade	Isolação térmica	
Paredes de tijolos cozidos 5cm x 10cm x 20cm	Meio tijolo s/ revestimento	-	10	120	≥ 2	≥ 2	1	1 1/2
	Um tijolo s/ revestimento	-	20	395	≥ 6	≥ 6	≥ 6	≥ 6
	Meio tijolo c/ revestimento	2,5	15	300	≥ 4	≥ 4	4	4
	Um tijolo c/ revestimento	2,5	25	300	≥ 6	≥ 6	≥ 5	> 6

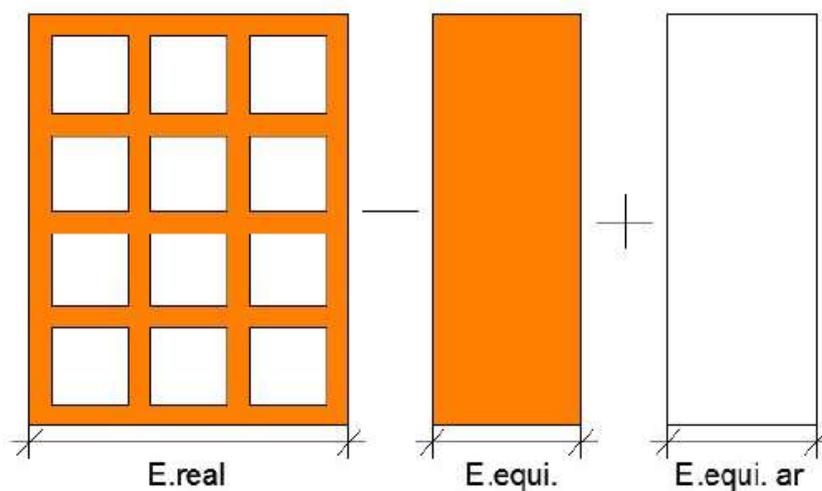
(fonte: AUTOR adaptada de IT 08, 2024)

2.3 Determinação da isolação térmica: Método ACI/TMS 216.1 (2014)

O código norte-americano utiliza um método analítico tabular que leva em consideração tanto a contribuição do revestimento que está exposto quanto do revestimento protegido (não exposto). Fazendo uso de informações como geometria, espessuras e composição dos materiais, é possível a determinação de “espessuras equivalentes”, conforme demonstrado na Figura 2.

De acordo com a ABNT NBR 15270-1:2023, a espessura mínima das paredes de blocos cerâmicos vazados é de 6 mm para blocos com resistência à compressão de até 4 Mpa. Para blocos com resistência de 6 Mpa ou superiores, essa espessura mínima é aumentada para 7 mm. Esses valores auxiliam na determinação da espessura de blocos com geometrias parcialmente conhecidas, permitindo estimar uma “espessura equivalente mínima” conforme os requisitos normativos. Em blocos de concreto, a ABNT NBR 6136:2014 estabelece espessuras mínimas para as paredes, que variam entre 15 mm e 32 mm, de acordo com a classe do bloco.

Figura 2: Exemplificação da espessura equivalente



(fonte: OLIVEIRA, 2014)

Com o auxílio de três tabelas e duas equações, pode-se estimar as espessuras equivalentes para o bloco e para a parede.

A espessuras equivalentes da unidade (bloco) e da parede como um todo (bloco + revestimentos), é definida pelas seguintes equações:

$$Te = \frac{Vn}{LH} \quad \text{(equação 1)}$$

$$Tea = Te + Tef \quad \text{(equação 2)}$$

Onde: Tea é a espessura equivalente da parede de alvenaria;

Te é a espessura equivalente da unidade;

Tef é a espessura equivalente do revestimento;

Vn é o volume líquido da unidade;

L é o comprimento nominal da unidade e;

H é altura nominal da unidade.

A Tabela 4 fornece um fator multiplicador para a espessura do revestimento não exposto ao fogo de acordo com o substrato do bloco a ser analisado.

Tabela 4: Fator multiplicador da espessura de revestimentos aplicados no lado não exposto ao fogo.

Substrato	Revestimento com argamassa cimentícia	Revestimento de gesso
Alvenaria com blocos de concreto	1,00	1,25
Alvenaria com tijolos maciços	1,00	1,25
Alvenaria com blocos cerâmicos	0,75	1,00

FONTE: ADAPTADO DE ACI/TMS 216.1 (2014)

(fonte: LEAL et al., 2022)

A Tabela 5, atribui um tempo de resistência aos revestimentos aplicados nas faces expostas ao fogo, de acordo com o tipo de revestimento e sua espessura. Valores intermediários são encontrados através de interpolação linear.

Tabela 5: Tempo atribuído aos revestimentos aplicados na face exposta ao fogo.

Tipo de revestimento	Tempo (min)
Argamassa de cimento Portland e areia aplicada diretamente*	
Argamassa de cimento Portland e areia sobre tela metálica	
3/4 pol. (1,9 cm)	20
7/8 pol. (2,22 cm)	25
1 pol. (2,54 cm)	30
Argamassa de gesso e areia sobre ripas de gesso de 3/8 pol. (9,5 mm)	
1/2 pol. (1,27 cm)	35
5/8 pol. (1,59 cm)	40
3/4 pol. (1,9 cm)	50
Argamassa de gesso e areia sobre tela metálica	
3/4 pol. (1,9 cm)	50
7/8 pol. (2,22 cm)	60
1 pol. (2,54 cm)	80

* PARA CONSIDERAR A CONTRIBUIÇÃO DA ARGAMASSA DE CIMENTO PORTLAND E AREIA, COM O USO DE TABELA QUE RELACIONE ESPESURAS EQUIVALENTES MÍNIMAS DE ALVENARIA E O TRF (TABELA 3), PERMITE-SE CONSIDERAR A ESPESURA REAL DA ARGAMASSA, NÃO ULTRAPASSANDO O VALOR DE TEMPO CORRESPONDENTE A 5/8 POL. (1,59 CM).

FONTE: ADAPTADO DE ACI/TMS 216.1 (2014)

(fonte: LEAL et al., 2022)

A Tabela 6, também fazendo uso de interpolação linear quando necessário, fornece valores para a Espessura Equivalente Mínima (Tea) da parede. Os valores apresentados levam em consideração o tipo de agregado do bloco a ser analisado e o Tempo de Resistência ao Fogo (TRF) desejado.

Diferentemente de outras abordagens, esta tabela permite considerar a espessura equivalente da parede completa, levando em conta tanto a espessura dos blocos quanto a dos revestimentos aplicados. Dessa forma, é possível determinar o TRF sem a necessidade de recorrer à tabela anterior para avaliar separadamente o revestimento exposto ao fogo e seu respectivo TRF. Esse método é particularmente útil para simplificar a análise e é amplamente adotado no contexto do método ACI/TMS 216.1 (2014).

Tabela 6: Espessura equivalente mínima (Tea) da parede em função do tempo de resistência ao fogo (em cm).

Tipo de bloco e agregado empregado	Espessura equivalente mínima T_{ea} (cm) para TRF (min)						
	30	45	60	90	120	180	240
Bloco de concreto com agregado silicoso	5,1	6,1	7,1	9,1	10,7	13,5	15,7
Bloco de concreto com agregado calcário	4,8	5,8	6,9	8,6	10,2	12,7	15,0
Tijolo cerâmico maciço	5,5*	6,2*	6,9	8,3*	9,7	12,4	15,2
Bloco cerâmico vazado, sem preenchimento	5,0*	5,5*	5,8	7,2*	8,6	10,9	12,7
Bloco cerâmico vazado, grauteado ou preenchido com materiais específicos	6,3*	7,1*	7,6	9,4*	11,2	14,0	16,8

* VALORES OBTIDOS POR INTERPOLAÇÃO LINEAR – FONTE: ADAPTADO DE ACI/TMS 216.1 (2014)

(fonte: LEAL et al., 2022)

2.4 Ensaios e valores de referência da literatura

A análise do desempenho térmico e estrutural de paredes em situações de incêndio, com base no Tempo de Resistência ao Fogo (TRF), é amplamente fundamentada em ensaios experimentais de outros autores, disponíveis em artigos e normas. Este estudo concentra-se em resultados de paredes de alvenaria estrutural cerâmica e de concreto, cujas características atendem parcialmente às exigências da NBR 14432 (2001) e do código americano ACI/TMS 216.1 (2014). Os ensaios analisados oferecem subsídios para a avaliação teórica pelo método da espessura equivalente.

Leal et al. (2022) investigaram 12 amostras de paredes de alvenaria estrutural de concreto, com diferentes configurações de revestimento e preenchimento, utilizando o método adaptado da ACI/TMS 216.1. Entre os critérios avaliados, destacou-se a espessura equivalente combinada (Tea), influenciada tanto pela geometria do bloco quanto pelas camadas de revestimento. Os resultados indicaram que o TRF é altamente dependente dessas variáveis, confirmando a relevância da interação entre revestimentos e materiais de enchimento na capacidade de isolamento térmico e estabilidade estrutural.

Lima et al. (2024) analisaram paredes de blocos cerâmicos com resistência característica à compressão variando entre 6 MPa e 14 MPa. Os ensaios demonstraram que paredes de maior

resistência apresentaram melhor desempenho em termos de estabilidade estrutural e menor propagação térmica, devido à menor incidência de fissuras. Essa característica revelou-se essencial para o aumento do TRF em alvenarias cerâmicas, especialmente sob altas temperaturas.

Por fim, ensaios realizados pela Pauluzzi Blocos Cerâmicos (2017) evidenciaram a influência direta da espessura e da composição da argamassa de revestimento sobre a transmitância térmica. Os resultados indicaram que espessuras adicionais no lado não exposto ao fogo podem elevar significativamente o TRF, dependendo das propriedades termo físicas dos materiais.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este estudo foi conduzido com uma abordagem quantitativa e experimental, com o objetivo de calcular o tempo de resistência ao fogo (TRF) de paredes de vedação e comparar os resultados teóricos com os experimentais disponíveis na literatura. A pesquisa utilizou o método da espessura equivalente, conforme descrito no ACI/TMS 216.1, adaptando-o às normas brasileiras, como a NBR 14432, para garantir a conformidade com o contexto normativo nacional.

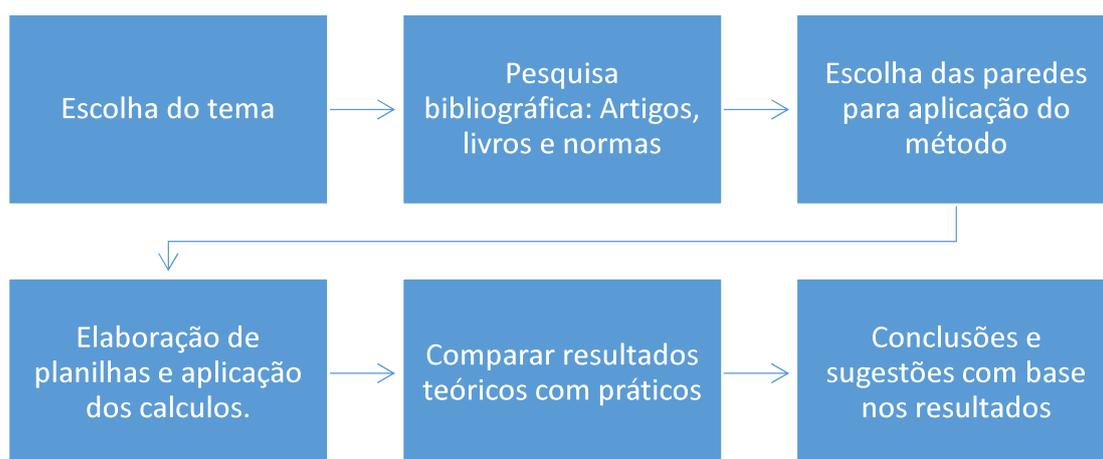
Inicialmente, como representado abaixo na Figura 3, realizou-se uma revisão detalhada das normas técnicas nacionais e internacionais que regulamentam a resistência ao fogo de elementos construtivos, incluindo a NBR 10636, NBR 14432, ISO 834 e ASTM E119. Essa análise normativa foi complementada por uma revisão bibliográfica de estudos que documentaram ensaios laboratoriais e métodos teóricos aplicados a alvenarias cerâmicas e de concreto. Essa etapa teve como objetivo compreender os critérios de estanqueidade às chamas, isolamento térmico e estabilidade estrutural que são determinantes para a avaliação do desempenho de paredes em situações de incêndio.

Os cálculos teóricos foram realizados utilizando o método da espessura equivalente para determinar o TRF das paredes selecionadas, considerando variáveis como espessura e composição dos blocos, características dos revestimentos e materiais de preenchimento. Para as paredes de blocos cerâmicos, três abordagens distintas foram aplicadas: (A) limitar a espessura do revestimento exposto ao fogo a 1,59 cm, aplicando um fator multiplicador para o revestimento interno; (B) utilizar a espessura total do revestimento exposto, sem o fator multiplicador; e (C) incluir as espessuras completas dos revestimentos, tanto do lado exposto quanto do lado protegido.

No caso das paredes de blocos de concreto, foram analisadas quatro hipóteses: (A) atribuindo TRF para o revestimento exposto ao fogo, através da Tabela 5, com espessura limite de 1,59, considerando blocos com agregado silicoso; (B) mesmas considerações da hipótese A, porém considerando blocos com agregado calcário; (C) a espessura total dos revestimentos (exposto e protegido), para blocos de agregado silicoso; e (D) a espessura total dos revestimentos, para blocos de agregado calcário. Essas abordagens possibilitaram avaliar como as propriedades térmicas dos agregados e as espessuras dos revestimentos influenciam o TRF.

Quando os valores estimados de TRF não correspondiam diretamente aos parâmetros disponíveis nas tabelas normativas, utilizou-se interpolação linear para garantir maior precisão nos resultados. A estrutura do trabalho pode ser visualizada no fluxograma apresentado na figura 3.

Figura 3: Estrutura e Métodos do Trabalho



(fonte: AUTOR, 2024)

Por fim, os resultados teóricos foram comparados aos dados experimentais obtidos de ensaios relatados na literatura. Essa análise comparativa permitiu avaliar a precisão e a aplicabilidade do método da espessura equivalente no contexto brasileiro.

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 Blocos analisados e suas propriedades

Ao todo, foram selecionadas e analisadas 12 paredes já submetidas a ensaios. As amostras foram separadas em dois grupos: paredes de blocos cerâmicos e blocos de concreto. Nas Tabelas 7 e 8, estão listadas as principais características de cada bloco que compõe este estudo.

Tabela 7: Principais propriedades dos blocos cerâmicos analisados

Blocos Cerâmicos								
Parede	Bloco	Tipo	Geometria (mm)	L Bloco (mm)	% sólidos	e paredes adotado (mm)	Revestimentos (Exp/Nexp) (mm)	TRF Ensaio/Adotado (min)
1	Bloco 14x19x29 (Empresa A)	Cerâmico c/ 6 furos	140x190x290	140	não informado	7	20/20	205/180
2	Bloco 19x19x29 (Empresa A)	Cerâmico c/ 9 furos	190x190x290	190	não informado	7	20/20	240
3	Bloco 10x20x20 (IT-08)	Cerâmico c/ 8 furos	100x200x200	200	não informado	7	15/15	240
4	Bloco 5x10x20 (IT-08)	Maciço	50x100x200	100	100%	-	25/25	240
5	Bloco EST 60 (Lima et al., 2022)	Cerâmico Estrut. Vazado	140x190x290	140	44,76%	-	10/20	187/180
6	Bloco EST 140 (Lima et al., 2022)	Cerâmico Estrut. Vazado	140x190x290	140	54,49%	-	10/20	240

(fonte: AUTOR, 2024)

Tabela 8: Principais propriedades dos blocos de concreto analisados:

Blocos de Concreto								
Parede	Bloco	Tipo	Geometria (mm)	L Bloco (mm)	% sólidos	e paredes adotado (mm)	Revestimentos (Exp/Nexp) (mm)	TRF Ensaio/Adotado (min)
7	Bloco 14x19x39 (IT-08)	Concreto c/ 2 furos	140x190x390	140	não informado	30	15/15	120
8	Bloco 19x19x39 (IT-08)	Concreto c/ 2 furos	190x190x390	190	não informado	30	15/15	180
9	Bloco 14x19x39 (Bloco Brasil, 2021)	Concreto Vazado	140x190x390	140	50,55%	-	20/0	120
10	Bloco 19x19x39 (Bloco Brasil, 2021)	Concreto Vazado	190x190x390	190	33,20%	-	20/0	180
11	Bloco 14x19x39 (Bloco Brasil, 2021)	Concreto Vazado	140x190x290	140	36,54%	-	10/25	180
12	Bloco 19x19x39 (Bloco Brasil, 2021)	Concreto Vazado	190x190x290	190	33,20%	-	10/25	240

(fonte: AUTOR, 2024)

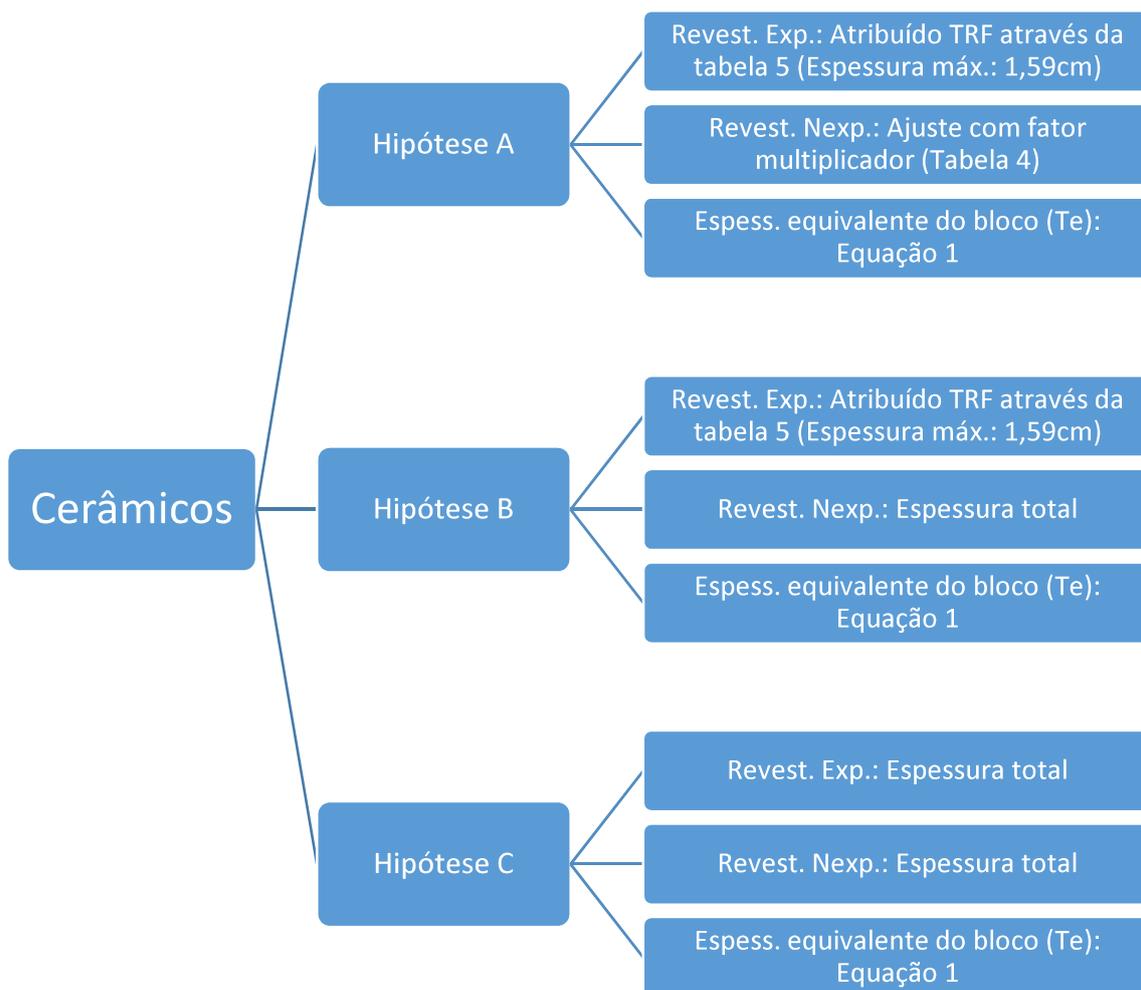
4.2 Paredes com blocos cerâmicos

Os blocos cerâmicos, amplamente utilizados em sistemas construtivos, possuem características que os tornam relevantes em análises de resistência ao fogo, especialmente devido às suas propriedades físicas e termo físicas. No presente estudo, foram avaliados seis tipos de blocos cerâmicos, abrangendo tanto configurações maciças quanto vazadas, com dimensões e espessuras de revestimento variadas.

Os blocos vazados, quando especificados nos estudos, incluíam informações sobre o percentual de sólido, permitindo maior precisão nos cálculos do tempo de resistência ao fogo (TRF). Para aqueles cuja espessura das paredes internas não foi fornecida, foi adotado o valor de 7 mm, respeitando a espessura mínima indicada na NBR 15270-1:2023.

O cálculo do TRF foi realizado com base em três hipóteses distintas, conforme o fluxograma da figura XX abaixo:

Figura 4: Hipóteses adotadas para paredes de blocos cerâmicos



(fonte: AUTOR, 2024)

- Hipótese A: atribui um TRF para o revestimento exposto ao fogo através da Tabela 5, considerando uma espessura máxima de 1,59cm. Espessura equivalente mínima (Tea) da parede considera a espessura equivalente do bloco (Equação 1) + espessura do revestimento interno ajustada por um fator multiplicador de 0,75 (Tabela 4). TRF da parede é obtido aplicando Tea na Tabela 6.

$$TRF \text{ teórico} = TRF \text{ Rev. exposto} + TRF \text{ Parede}$$

- Hipótese B: atribui um TRF para o revestimento exposto ao fogo através da Tabela 5, considerando uma espessura máxima de 1,59cm. Espessura equivalente mínima (Tea) da parede considera a espessura equivalente do bloco (Equação 1) + espessura do revestimento interno. TRF da parede é obtido aplicando Tea na Tabela 6.

$$TRF \text{ teórico} = TRF \text{ Rev. exposto} + TRF \text{ Parede}$$

- Hipótese C: Espessura equivalente mínima (Tea) considera a espessura equivalente do bloco (Equação 1) + espessuras totais dos revestimento. TRF da parede é obtido aplicando Tea na Tabela 6.

$$TRF \text{ teórico} = TRF \text{ Parede}$$

Essas diferentes abordagens permitiram avaliar a influência da geometria dos blocos e das espessuras dos revestimentos no desempenho térmico das paredes. A análise reforça a importância de considerar tanto os parâmetros normativos quanto as características intrínsecas dos blocos cerâmicos para estimar o TRF de forma precisa e confiável.

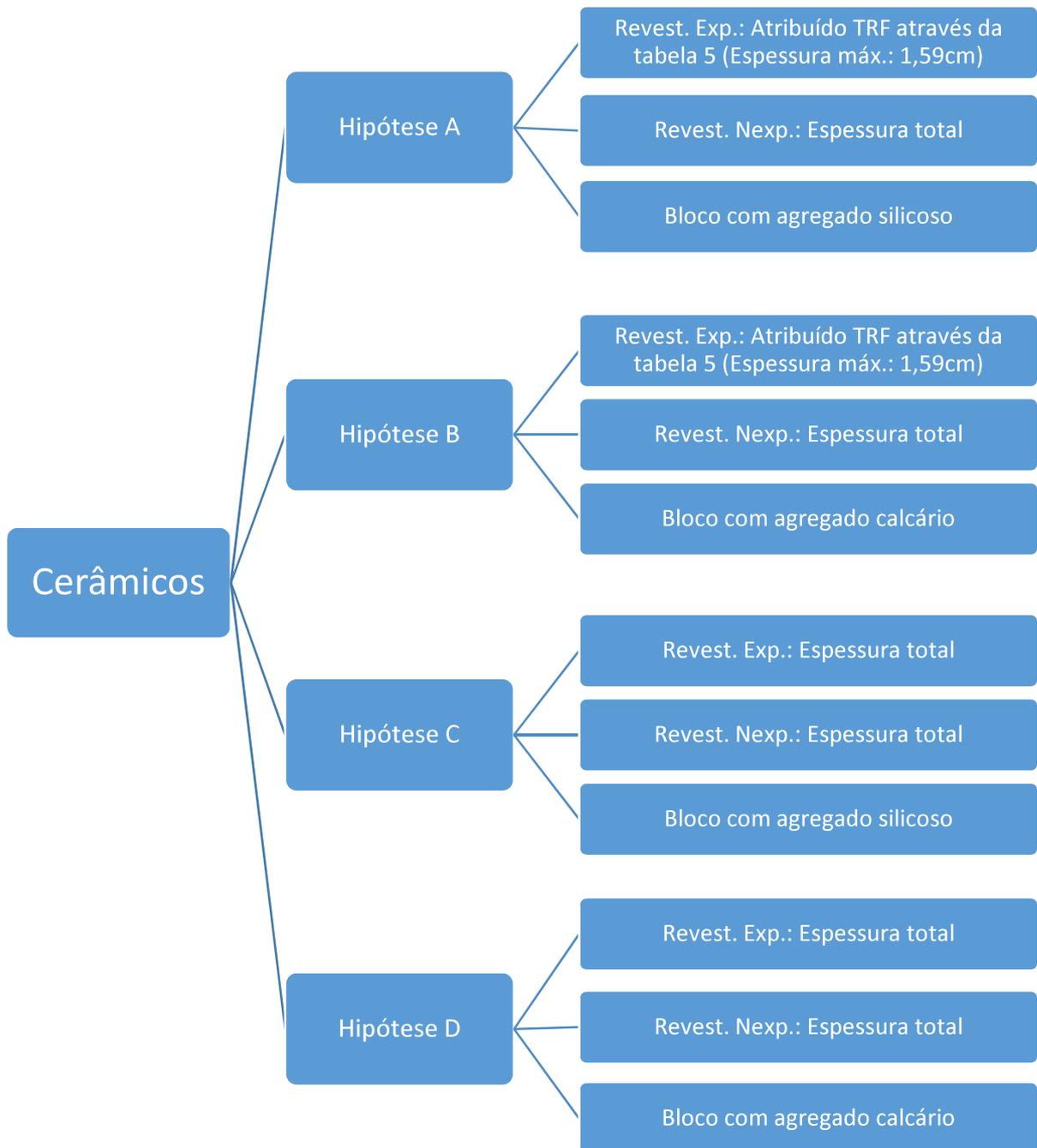
4.2 Paredes com blocos de concreto

Os blocos de concreto, assim como os blocos cerâmicos, são amplamente utilizados na construção civil e desempenham um papel crucial em sistemas construtivos que exigem resistência ao fogo. Neste estudo, foram avaliados seis tipos de blocos de concreto, cujas características variam tanto em termos de densidade quanto de espessura de revestimento.

Quando os dados sobre o percentual de sólido estavam disponíveis, foi possível realizar uma análise mais detalhada da resistência ao fogo, considerando as características específicas de cada tipo de bloco. Nos casos em que as informações sobre o percentual de sólido não foram fornecidas, foi adotada a espessura das paredes com 30mm, valor em acordo com a espessura mínima da NBR6136:2014.

Considerando que a Tabela 6 considera para blocos de concreto um fator multiplicador 1,00, o revestimento interno (não exposto ao fogo) sempre foi considerado com sua espessura total. O cálculo do Tempo de Resistência ao Fogo (TRF) foi realizado com base em quatro hipóteses distintas conforme o fluxograma da figura 5.

Figura 5: Hipóteses adotadas para paredes de blocos cerâmicos



(fonte: AUTOR, 2024)

- Hipótese A: atribui um TRF para o revestimento exposto ao fogo através da Tabela 5, considerando uma espessura máxima de 1,59cm. Espessura equivalente mínima (Tea) da parede considera a espessura equivalente do bloco (Equação 1) + espessura do revestimento interno. TRF da parede é obtido aplicando Tea na Tabela 6, assumindo que o bloco é composto por agregado silicoso.

$$\mathbf{TRF\ te\acute{o}rico = TRF\ Rev.\ exposto + TRF\ Parede}$$

- Hipótese B: atribui um TRF para o revestimento exposto ao fogo através da Tabela 5, considerando uma espessura máxima de 1,59cm. Espessura equivalente mínima (Tea) da parede considera a espessura equivalente do bloco (Equação 1) + espessura do revestimento interno. TRF da parede é obtido aplicando Tea na Tabela 6, assumindo que o bloco é composto por agregado calcário.

$$\mathbf{TRF\ te\acute{o}rico = TRF\ Rev.\ exposto + TRF\ Parede}$$

- Hipótese C: Espessura equivalente mínima (Tea) considera a espessura equivalente do bloco (Equação 1) + espessuras totais dos revestimentos. TRF da parede é obtido aplicando Tea na Tabela 6, considerando que o bloco é composto por agregado silicoso.

$$\mathbf{TRF\ te\acute{o}rico = TRF\ Parede}$$

- Hipótese D: Espessura equivalente mínima (Tea) considera a espessura equivalente do bloco (Equação 1) + espessuras totais dos revestimentos. TRF da parede é obtido aplicando Tea na Tabela 6, considerando que o bloco é composto por agregado calcário.

$$\mathbf{TRF\ te\acute{o}rico = TRF\ Parede}$$

As diferentes hipóteses apresentadas possibilitaram uma análise detalhada do desempenho térmico dos blocos de concreto em situações de incêndio, levando em consideração as variáveis normativas e as propriedades específicas dos materiais. A comparação entre essas abordagens contribui para uma estimativa mais precisa e confiável do TRF dos blocos de concreto, essencial para a segurança e eficiência dos projetos construtivos.

5 ANALISE DOS RESULTADOS

5.1 Análise das paredes com blocos cerâmicos

Compilando todos os dados teóricos com os dados de ensaio na tabela 9, foi possível observar variações entre os métodos utilizados quando comparados aos resultados de laboratório. Essas variações foram calculadas entre os TRF teóricos (obtido em cada hipótese) e os TRF de ensaio. Ficou nítido que os valores de cálculo resultaram em TRF menores que os valores de ensaio, sempre em favor da segurança. Importante ressaltar que as Paredes 1, 2 e 3 tiveram as maiores variações, pois tiveram suas espessuras de paredes adotadas como o mínimo de norma (7mm), já que não haviam os dados reais.

Tabela 9: Dados teóricos e de referência das paredes de blocos cerâmicos analisadas

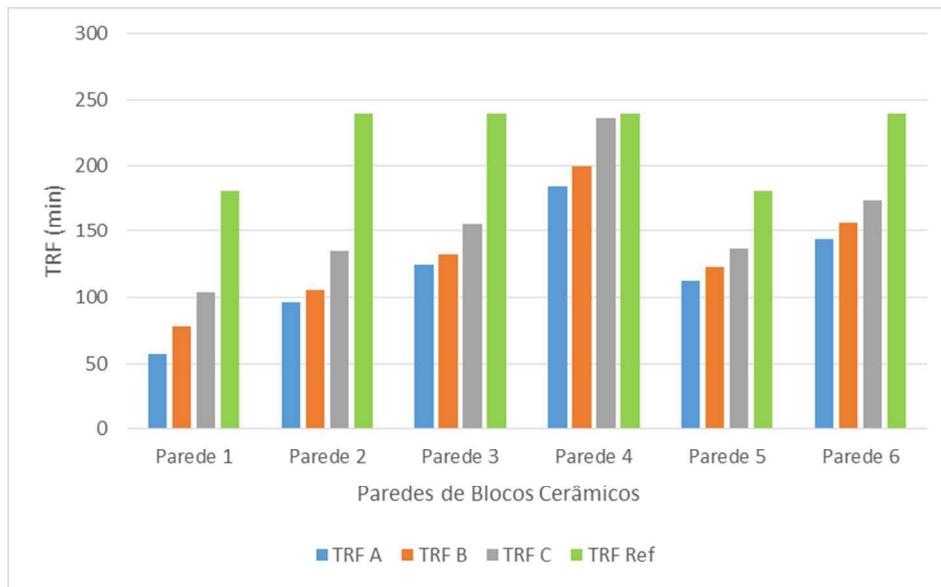
Blocos Cerâmicos								
Parede	Tipo de Bloco	Dimensões (mm)	Espessura bloco (mm)	Revestimento Exp/Nexp (mm)	Hipótese	TRF teor/adot. (min)	TRF ens (min)	Varição (%)
1	Cerâmico c/ 6 Furos	140x190x290	140	20/20	A	57 / 30	180	-68,33
					B	78 / 60	180	-56,67
					C	104 / 90	180	-42,22
2	Cerâmico c/ 9 Furos	190x190x290	190	20/20	A	96 / 90	240	-60,00
					B	106 / 90	240	-55,83
					C	135 / 120	240	-43,75
3	Cerâmico c/ 8 Furos	200x100x200	200	15/15	A	125 / 120	240	-47,92
					B	133 / 120	240	-44,58
					C	156 / 150	240	-35,00
4	Cerâmico Maciço	100x50x200	100	25/25	A	185 / 180	240	-22,92
					B	199 / 180	240	-17,08
					C	236 / 210	240	-1,67
5*	Bloco Cerâmico Estrutural A	140x190x290	140	10/20	A	113 / 90	180	-37,22
					B	123 / 120	180	-31,67
					C	137 / 120	180	-23,89
6*	Bloco Cerâmico Estrutural B	140x190x290	140	10/20	A	144 / 120	240	-40,00
					B	157 / 150	240	-34,58
					C	173 / 150	240	-27,92

* paredes que possuem o % de sólidos dos blocos nos dados do ensaio

(fonte: AUTOR, 2024)

A figura 6 apresentou os resultados do método C, onde considerou-se as espessuras totais dos revestimentos, foi o que teve uma menor variação em relação aos números de ensaio. O Bloco 4, teve a melhor aproximação dentre todos. Em seguida, os valores dos Blocos 5 e 6 tiveram uma variação semelhante, próxima aos 25%. Estes últimos, possuíam os valores exatos de percentagem de sólidos, proporcionando uma exatidão maior.

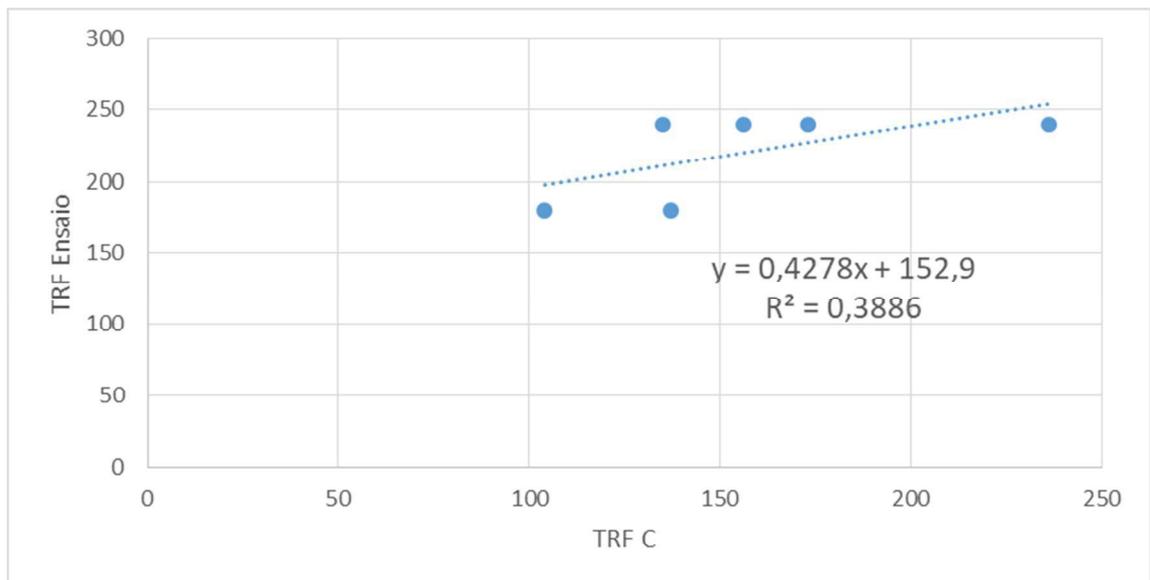
Figura 6: Comparação gráfica entre TRF teóricos e de ensaio



(fonte: AUTOR, 2024)

Criou-se um gráfico de dispersão linear para avaliar a correlação entre cada TRF teórico, obtido pelo método da espessura equivalente, e o TRF experimental (de referência). Comparando os gráficos, notou-se que a dispersão entre o TRF de ensaio e as hipóteses A e B ficou aquém do esperado. Assim, adotou-se a hipótese C por apresentar os melhores resultados.

Figura 7: Correlação entre TRF C e TRF experimental para paredes de blocos cerâmicos

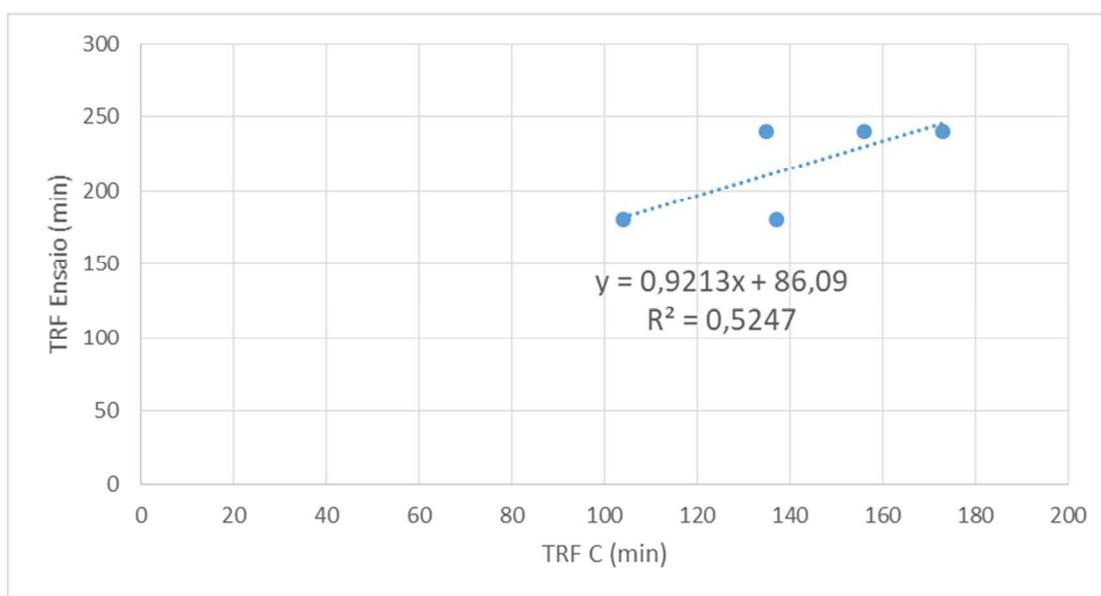


(fonte: AUTOR, 2024)

Analisando a figura 7, verificou-se que o coeficiente de determinação (R^2) do gráfico resultou em 0,38, indicando uma correlação limitada entre os valores analisados. Cabe destacar que, na

literatura, valores de R^2 superiores a 0,85 indicam que a função de regressão linear se ajusta bem aos dados, o que não foi atingido no presente estudo. Analisando a nuvem de pontos, percebeu-se também que a Parede 4 (blocos maciços) podia estar distorcendo a equação e foi feito um novo teste retirando a mesma.

Figura 8: Correlação entre TRF C e TRF experimental para paredes de blocos cerâmicos (exceto parede 4)



(fonte: AUTOR, 2024)

Apesar da análise sem a Parede 4, representada na figura 8, ainda não ter um resultado realmente satisfatório (R^2 próximo a 0,80), o resultado ($R^2=0,52$) foi superior quando comparado com a dispersão anterior, com a Parede 4 ($R^2=0,38$).

5.2 Análise das paredes com bloco de concreto

Combinando os dados obtidos pelo método de cálculo (Tabela 10) e comparando com os valores obtidos nos ensaios das paredes de blocos de concreto (Figura 9), notou-se dois padrões. A variação das duas primeiras paredes (7 e 8) foram baixas e com maior discrepância, inclusive em algumas hipóteses obtendo resultando de TRF teórico maior que o TRF de ensaio. Já as outras quatro paredes ensaiadas (9, 10, 11 e 12), mostraram respeitar um padrão mais linear, sem ultrapassar o TRF de ensaio em nenhuma das quatro hipóteses de cálculo.

Tabela 10: Dados teóricos e de referência das paredes de blocos de concreto analisadas

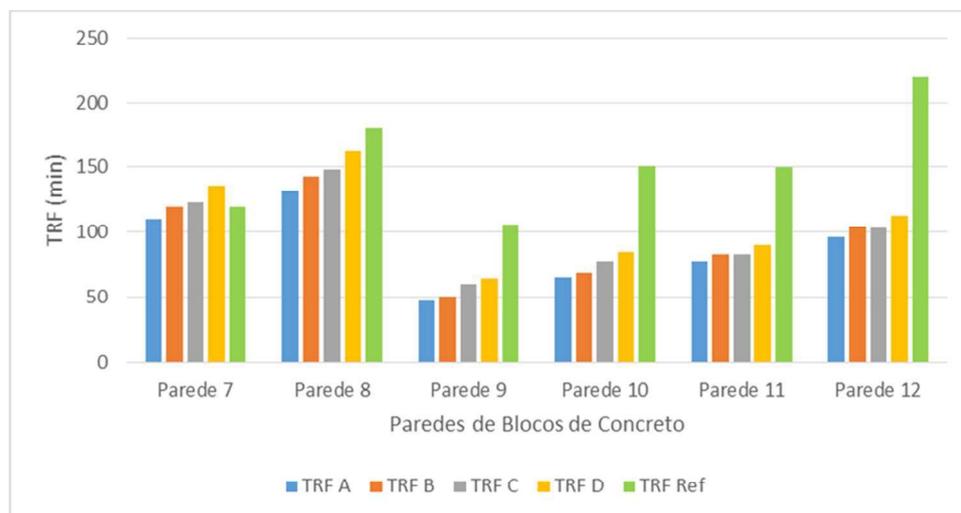
Blocos de Concreto								
Parede	Tipo de Bloco	Dimensões (mm)	Espessura bloco (mm)	Revestimento Exp/Nexp (mm)	Hipótese	TRF teor/adot. (min)	TRF ens (min)	Varição (%)
7	Bloco de Concreto c/ 2 Furos A	140x190x390	140	15/15	A	110 / 90	120	-8,33
					B	120 / 120	120	0,00
					C	123 / 120	120	2,50
					D	136 / 120	120	13,33
8	Bloco de Concreto c/ 2 Furos B	190x190x390	190	15/15	A	132 / 120	180	-26,67
					B	143 / 120	180	-20,56
					C	148 / 120	180	-17,78
					D	163 / 150	180	-9,44
9*	Bloco de Concreto Vazado A	140x190x390	140	20/0	A	47 / 30	106	-55,66
					B	51 / 30	106	-51,89
					C	60 / 60	106	-43,40
					D	64 / 60	106	-39,62
10*	Bloco de Concreto Vazado B	190x190x390	190	20/0	A	65 / 60	151	-56,95
					B	69 / 60	151	-54,30
					C	78 / 60	151	-48,34
					D	85 / 60	151	-43,71
11*	Bloco de Concreto Vazado C	140x190x390	140	10/25	A	78 / 60	150	-48,00
					B	83 / 60	150	-44,67
					C	83 / 60	150	-44,67
					D	90 / 90	150	-40,00
12*	Bloco de Concreto Vazado D	190x190x390	190	10/25	A	96 / 90	220	-56,36
					B	104 / 90	220	-52,73
					C	103 / 90	220	-53,18
					D	113 / 90	220	-48,64

* paredes que possuem o % de sólidos dos blocos nos dados do ensaio

(fonte: AUTOR, 2024)

As paredes apresentaram resultados de TRF com padrões diferentes. Saber ou não o percentual de sólidos, dos blocos que compõem as paredes, foi o fator que segmentou os resultados em dois padrões.

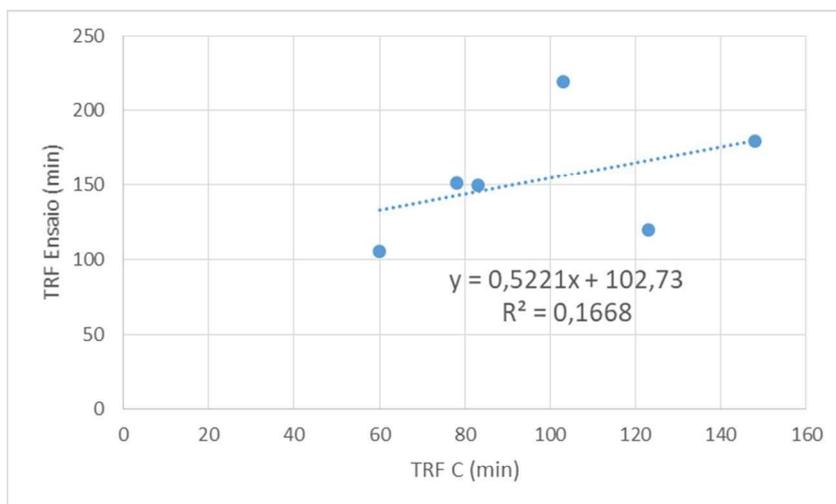
Figura 9: Comparação gráfica entre TRF teóricos e de ensaio



(fonte: AUTOR, 2024)

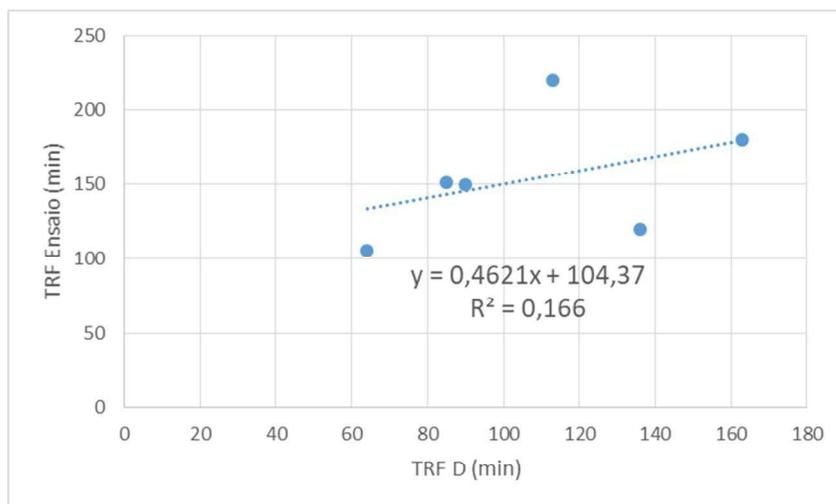
Analisando o gráfico da figura 9, fica evidente os dois padrões. Como a Parede 7, nas hipóteses C e D, teve um TRF teórico superior ao TRF de ensaio, julgou-se que este método não estaria alinhado com a segurança. As incertezas referentes a espessura real dos septos dos blocos não validam o método teórico como eficiente ao adotar uma espessura padrão, mesmo que dentro da norma (30mm). Ao analisar as figuras 10 e 11, verificou-se que a correlação entre os TRF C e TRF D com os TRF de ensaio apresento uma grande dispersão ($R^2 \pm 0,17$) relacionada as Paredes 7 e 8.

Figura 10: Correlação entre TRF C (silicoso) e TRF de ensaio para paredes de blocos de concreto



(fonte: AUTOR, 2024)

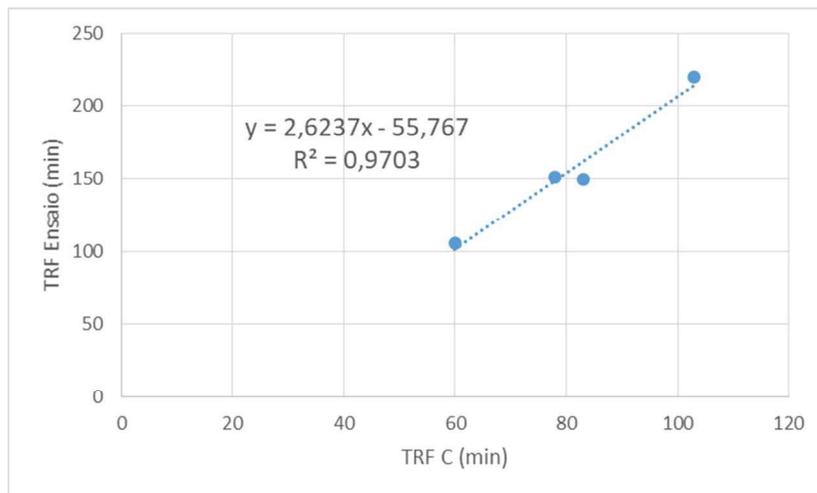
Figura 11: Correlação entre TRF D (calcário) e TRF de ensaio para paredes de blocos de concreto



(fonte: AUTOR, 2024)

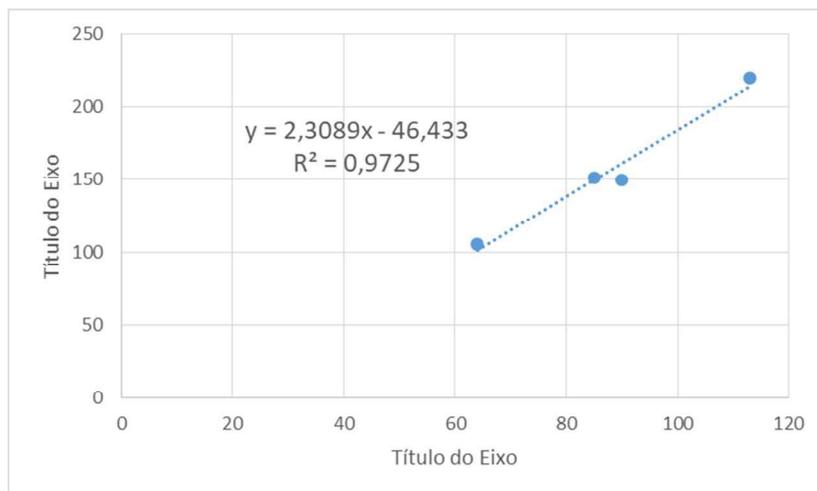
Conforme os gráficos das figuras 12 e 13, optou-se por seguir a análise com as Paredes 9, 10, 11 e 12. Os resultados possuem um bom padrão, sem abrir mão da segurança. Entre as quatro hipóteses calculadas, C e D, que consideram a espessura total dos revestimentos, foram as que mais se aproximaram do TRF de referência (ensaio). Foi observado também que blocos com agregado de calcário obtiveram um maior tempo de resistência ao fogo quando comparados a blocos com agregado silicoso, se considerar uma mesma geometria.

Figura 12: Correlação entre TRF C (silicoso) e TRF de ensaio para paredes de blocos de concreto (Sem Paredes 7 e 8)



(fonte: AUTOR, 2024)

Figura 13: Correlação entre TRF C (silicoso) e TRF de ensaio para paredes de blocos de concreto (Sem Paredes 7 e 8)

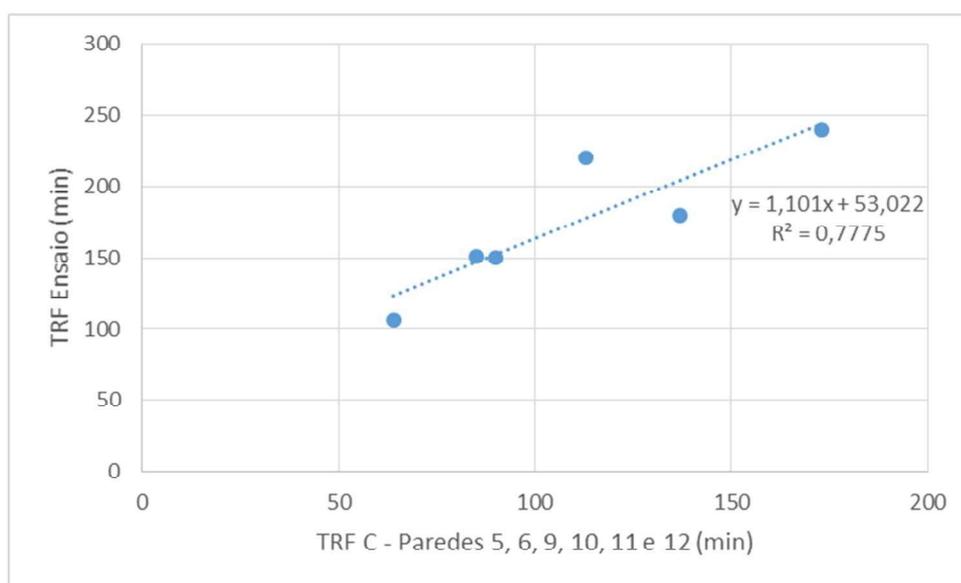


(fonte: AUTOR, 2024)

Em uma rápida análise, percebeu-se que as paredes com blocos onde o percentual de sólidos era conhecido, são as que tiveram uma menor distorção entre os seus TRF quando correlacionados aos TRF experimentais (ensaio).

Essa relação ainda pode ser confirmada com o gráfico da figura 14, que correlacionou os TRF de ensaio com o TRF C, das paredes com geometria totalmente conhecida (% de sólidos), de blocos cerâmicos e de concreto, juntas

Figura 14: Correlação entre TRF C de paredes com % de sólidos conhecidos e TRF de ensaio (Cerâmicos e Concreto)



(fonte: AUTOR, 2024)

6 CONCLUSÃO

Os resultados apresentados permitem concluir que o método da espessura equivalente demonstrou ser de fácil aplicação e de custo significativamente menor quando comparado a ensaios laboratoriais, tornando-se uma alternativa viável para estimar o TRF de paredes de alvenaria em contextos onde a segurança é um fator crítico.

Observou-se que blocos com geometrias conhecidas por completo, incluindo espessuras internas e percentuais de sólidos bem definidos, apresentaram melhores resultados e uma maior correlação entre valores teóricos e experimentais. Por outro lado, blocos com informações geométricas incompletas geraram maior incerteza nos cálculos.

Os resultados teóricos foram, em geral, inferiores aos experimentais, reforçando a abordagem conservadora e confiável do método. Contudo, a aplicação prática do modelo exige cautela, uma vez que os achados desta pesquisa se basearam em um número limitado de amostras. Assim, destaca-se a necessidade de ampliar a base de dados experimentais, abrangendo diferentes geometrias, revestimentos e materiais, para validar e aprimorar a confiabilidade do método.

Estudos futuros devem integrar propriedades térmicas e mecânicas ao modelo teórico, buscando refinar a precisão dos cálculos e consolidar o método como uma ferramenta robusta e prática na estimativa do TRF de paredes de alvenaria.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10636-1: Componentes construtivos não estruturais - Ensaio de resistência ao fogo Parte 1: Paredes e divisórias de compartimentação. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13860: Glossário de termos relacionados com a segurança contra incêndio. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14432: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15200: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. Rio de Janeiro, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15270-1: Componentes cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria - Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2023.

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

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E119: Standard test methods for fire tests of building construction and materials. West Conshohocken, 2024.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. Instrução Técnica nº 08: Resistência ao fogo de elementos construtivos. São Paulo, 2019.

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

COSTA, C. N. - Dimensionamento de elementos de concreto armado em situação de incêndio. São Paulo, 2008.

LEAL, C. E. F.; MEDEIROS, W. A.; PARSECKIAN, G. A.; MORENO JÚNIOR, A. L. Proposta para determinação do tempo de resistência ao fogo em alvenaria estrutural quanto à isolamento térmica. Revista Concreto & Construções, Ed. 108, 2022.

LIMA, F. S. de; TREVISAN, R.; KLIPPEL FILHO, S.; VECHIM, J. C.; TUTIKIAN, B. Alvenaria estrutural em situação de incêndio: influência da resistência à compressão de blocos cerâmicos. Porto Alegre, 2024.

PAULUZZI BLOCOS CERÂMICOS. Sistemas de alvenaria com blocos cerâmicos Pauluzzi – Desempenho. Revisão 03, julho de 2017.

ANEXO "A" – PLANILHAS CÁLCULO TRF

Bloco	Dim (mm)	L (mm)	bloco			revest.			parede				
			e paredes bloco (mm)	Revest. Exp. (mm)	Revest. Nesxp (mm)	Te (mm)	Tef exp (min)	Tef Nexp (mm)	Tea (alv) (mm)	TRF teor (min)	TRF adot (min)	TRF ens (min)	TRF exp (min)
3	200 x 100 x 200	200	7	15	15	69,65	15,79	11,25	80,90	124,86	120	240	240
3*	200 x 100 x 200	200	7	15	15	69,65	15,79	15	84,65	132,90	120	240	240
3**	200 x 100 x 200	200	7	15	15	69,65	-	15	99,65	155,61	150	240	240

Lim. Rev. Exp. (mm): 15,9

Fator substrato	0,75
Vn	1393000
C	200
H	100
Te	69,65

Bloco	Dim (mm)	L (mm)	bloco			revest.			parede				
			e paredes bloco (mm)	Revest. Exp. (mm)	Revest. Nesxp (mm)	Te (mm)	Tef exp (min)	Tef Nexp (mm)	Tea (alv) (mm)	TRF teor (min)	TRF adot (min)	TRF ens (min)	TRF exp (min)
11	140 x 190 x 390	140	nd	10	25	51,15	10,53	25	76,15	78,25	60	150	150
11*	140 x 190 x 390	140	nd	10	25	51,15	10,53	25	76,15	83,14	60	150	150
11**	140 x 190 x 390	140	nd	10	25	51,15	-	25	86,15	82,73	60	150	150
11***	140 x 190 x 390	140	nd	10	25	51,15	-	25	86,15	90,28	90	150	150

Lim. Rev. Exp. (mm): 15,9

% solido	
Fator substrato	1
Vn	3790500
C	190
H	390
Te	51,15