

Proposta de Procedimento para determinação do Tempo de Resistência ao Fogo em Alvenaria Estrutural quanto à Isolação Térmica: Estudo de casos com vistas a subsídios de Normatização Nacional

Palavras-chave: Análise experimental; Alvenaria estrutural; Situação de incêndio; Isolação térmica.

Autores:

Davi Russo Freitas, FECFAU - UNICAMP

Prof. Dr. Armando Lopes Moreno Júnior (orientador), FECFAU - UNICAMP

INTRODUÇÃO:

A normalização brasileira para alvenaria estrutural carece de procedimentos para a verificação da segurança em situação de incêndio, especificamente quanto ao critério de Isolação Térmica (I). A aplicação direta de normas internacionais, como a ACI/TMS 216.1, pode originar métodos inseguros devido às particularidades dos materiais e técnicas construtivas nacionais. Diante da elaboração de uma proposta para a futura Parte 4 da ABNT NBR 16868, este trabalho tem como objetivo central investigar e validar este novo procedimento. Para isso, esta pesquisa realiza uma análise comparativa confrontando resultados experimentais obtidos em laboratórios brasileiros, previsões analíticas derivadas do método internacional proposto e resultados de simulações numéricas em elementos finitos. O estudo visa, desta forma, subsidiar cientificamente a comissão da ABNT, contribuindo para o desenvolvimento de uma norma nacional segura e adequada à realidade da construção civil brasileira.

METODOLOGIA:

Esta pesquisa foi estruturada em três frentes complementares. A primeira consistiu na compilação e análise de resultados experimentais de ensaios de resistência ao fogo em paredes e prismas de alvenaria, obtidos em laboratórios credenciados e na literatura científica nacional, cujos resultados estão listados na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 – Resultados Nacionais para paredes em blocos vazados de concreto

UNIDADE			PAREDE			REVESTIMENTO			RESULTADO DO ENSAIO
L x C (cm)	Vn (cm ³)	Classe de Aplicação (fbk)	C x A (m)	Carga	Arg. Assent.	Face exposta (interna)	Face não exposta (externa)	Houve queda?	I (min)

14 x 39	5244	A (12,4 MPa)	2,60 x 2,60	10 000 kgf/m	Ind. (1cm)	Não	Não	Não	80
14 x 39	5244	B (7,5 MPa)	2,60 x 2,60	10 000 kgf/m	Mold. <i>in-loco</i> 1:2:9 (1cm)	Gesso (1cm)	Gesso (1cm)	Não	> 120
14 x 39	3790,5	C (4,6 MPa)	2,60 x 2,60	Não	Ind. (1cm)	Chapisco + Arg. Ind. (2cm)	Não	Não	106
19 x 39	4674	C (4,0 MPa)	2,70 x 2,62	Não	Ind. (1cm)	Chapisco + Arg. Ind. (2cm)	Não	Não	151
19 x 39	4674 ^L	C (4,2 MPa)	2,60 x 2,60	Não	Ind. (1cm)	Chapisco + Arg. Ind. (2cm)	Não	Não	> 240
14 x 39	5244	B (7,2 MPa)	2,60 x 2,60	10 000 kgf/m	Ind. (1cm)	Chapisco Ind. + Arg. Ind. (2,5cm)	Não	Face exposta (12 min)	101
14 x 39	3790,5	C (4,6 MPa)	2,60 x 2,60	Não	Ind. (1cm)	Arg. Ind. (1,5cm)	Arg. Ind. (1,5cm)	Face exposta (9 min)	98
14 x 39	5244	B (5,1 MPa)	2,60 x 2,60	10 000 kgf/m	Ind. (1cm)	Arg. Ind. (1,5cm)	Arg. Ind. (1,5cm)	Face exposta (9 min)	107
14 x 39	5244	A (9,0 MPa)	3,05 x 2,80 ^M	9 174 kgf/m	Ind.	Chapisco Mold. <i>in loco</i> 1:4 + Arg. Ind. (2cm)	Chapisco Mold. <i>in loco</i> 1:4 + Arg. Ind. (2cm)	Não	180,5
14 x 39	3790,5	C	2,60 x 2,80	Não	Ind. (1cm)	Arg. Ind. (1cm)	Arg. Ind. (2,5cm)	Não	150
19 x 39	4674	C	2,60 x 2,80	Não	Ind. (1cm)	Arg. Ind. (1cm)	Arg. Ind. (2,5cm)	Não	220
19 x 39	4674	C	2,60 x 2,60	Não	Ind. (1cm)	Chapisco + Arg. Ind. (1cm)	Chapisco + Arg. Ind. (2,5cm)	Não	> 240

Fonte: BlocoBrasil (2021).

A segunda frente foi a aplicação do método analítico proposto para a futura norma ABNT NBR 16868-4, calculando-se o Tempo de Resistência ao Fogo (TRF) previsto para os mesmos casos analisados experimentalmente.

A terceira frente envolveu a simulação numérica do comportamento térmico utilizando o software de elementos finitos Abaqus. O pacote de elementos finitos Abaqus foi utilizado para modelar blocos vazios de concreto e a distribuição de temperatura na seção transversal, a partir das propriedades térmicas obtidas para o material em questão. Os blocos foram modelados considerando sua geometria precisa, incluindo as mísulas existentes nas paredes dos blocos. Também foi modelada a massa de ar no interior dos blocos e eventual revestimento (interno e externo) dos blocos (Figura 1). A modelagem

numérica permitiu simular o tempo de resistência ao fogo (no que diz respeito à isolamento térmica) de cada ensaio experimental analisado.



Figura - 1 a) Blocos vazios de concreto modelados no ABAQUS b) O vazio (ar) modelado no ABAQUS.

Para a realização das simulações propostas, foi necessário determinar os parâmetros dos materiais usados nos testes, com destaque para o concreto, ar, argamassas e a cerâmica. Além de toda a caracterização dos materiais, também foram utilizadas constantes físicas fundamentais para a simulação, como o zero absoluto e a constante de Stefan-Boltzmann.

Os parâmetros utilizados nesse estudo podem ser diferenciados em três naturezas distintas: gerais, mecânicos e térmicos. Nos parâmetros gerais, destaca-se a densidade, uma propriedade física fundamental que relaciona a massa de um material ao volume por ele ocupado. Para o concreto, a densidade foi baseada em Medeiros (2022); para o ar, em Rodovalho e Corrêa (2019); para a argamassa, em Rodovalho, Simões e Corrêa (2017); e para a cerâmica, em Eurocode 6 (1996).

No âmbito dos parâmetros mecânicos, considera-se a viscosidade, que representa a resistência de um fluido ao escoamento. Como essa propriedade é específica para fluidos, foi aplicada exclusivamente ao ar, com os valores obtidos de Rodovalho e Corrêa (2019).

Por fim, entre os parâmetros térmicos, temos o calor específico e a condutividade térmica. O calor específico, que é a quantidade de energia necessária para elevar a temperatura de um material em 1°C, foi referenciado para o concreto em Medeiros (2022); para o ar, em Rodovalho e Corrêa (2019); para a argamassa, em Rodovalho, Simões e Corrêa (2017); e para a cerâmica, em Eurocode 6 (1996). Já a condutividade térmica, que representa a capacidade do material de transmitir calor, foi obtida para o concreto em Medeiros (2022); para o ar, em Rodovalho e Corrêa (2019); para a argamassa, em Rodovalho, Simões e Corrêa (2017); e para a cerâmica, em Eurocode 6 (1996).

A combinação dessas condições bem calibradas possibilita a criação de um ambiente adequado para a simulação de ensaios experimentais, permitindo assim maior abrangência de dados e contribuindo diretamente para a futura normatização de alvenaria em situação de incêndio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Como parte dos resultados obtidos até aqui temos simulações de prismas com ou sem revestimento contendo blocos de concreto ou cerâmicos. Tais testes foram utilizados como métodos comparativos a serem usados nas reuniões para normatização. Primeiramente foi realizado um teste para análise da influência da geometria em relação a diferença de condutividade encontrada em blocos de concreto com diferentes resistências a compressão, assim chegamos ao Gráfico 1

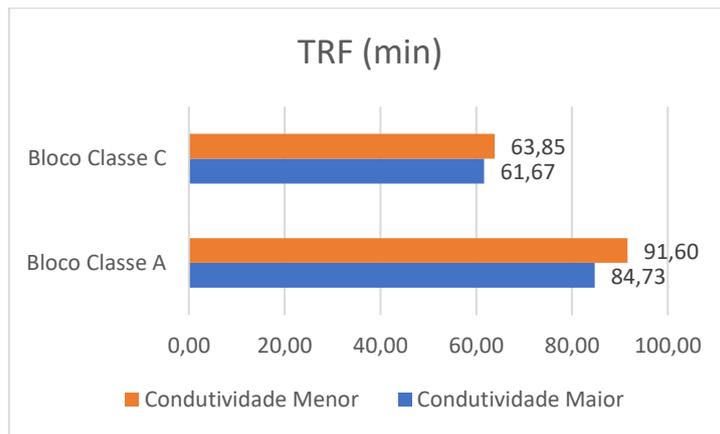


Gráfico 1 – Influência da condutividade na geometria

Como evidenciado pelo Gráfico 1, mesmo com uma diferença significativa nas condutividades foi apresentado pouca mudança do TRF, assim podemos concluir que a geometria e os outros parâmetros possuem maior influência no TRF.

Após a realização desse primeiro teste, prosseguimos para o teste de prismas, foram realizadas variações de prismas sem revestimento, 10mm de revestimento nos dois lados, 15mm e 20mm. No Gráfico 2 temos o TRF de um prisma com blocos de concreto da classe A.

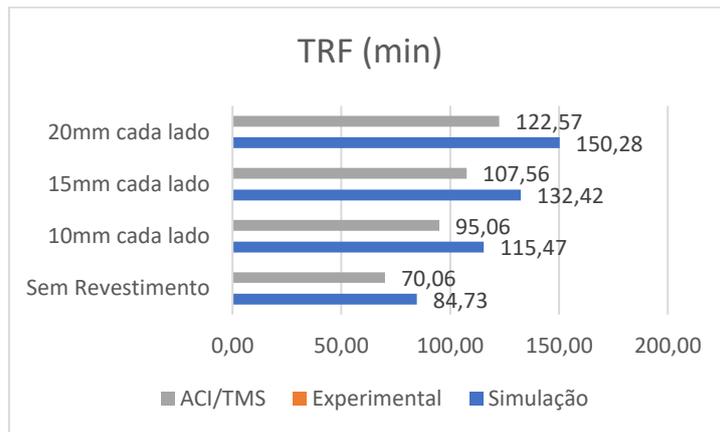


Gráfico 2 – Comparativo TRF BL-A

A análise do Gráfico 2 revela grandes diferenças entre as simulações e os valores previstos pelo método tabular (ACI/TMS), provavelmente porque esse método normativo tende a reduzir o TRF para garantir maior segurança e funcionamento da estrutura. Espera-se que os resultados dos ensaios experimentais sejam próximos aos da simulação numérica. Já o Gráfico 3 apresenta o TRF de um prisma cerâmico com “dentes” em seus furos.

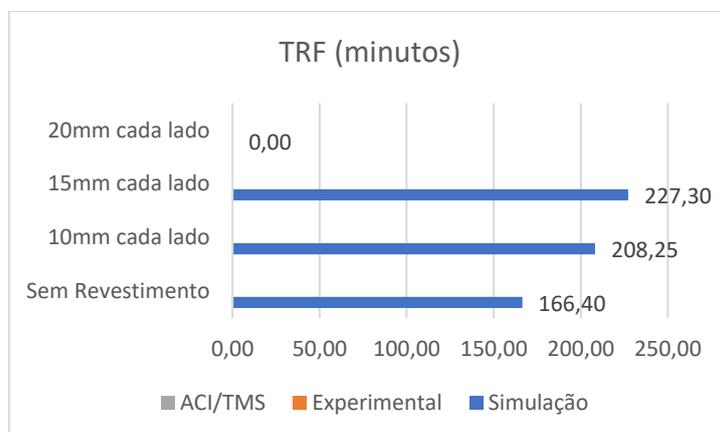


Gráfico 3 – Comparativo TRF BL-CE-1

Este gráfico contém apenas os TRF provenientes da simulação, quando comparado com o prisma de concreto tem-se um TRF muito maior, devido, principalmente as características da cerâmica. O prisma com 20mm de revestimento em cada lado apresentou um TRF maior que 240 minutos, assim não quebrando isolamento no antes do tempo previsto na simulação. O Gráfico 4 mostra o TRF de um prisma cerâmico com vários furos retangulares e furos elípticos.

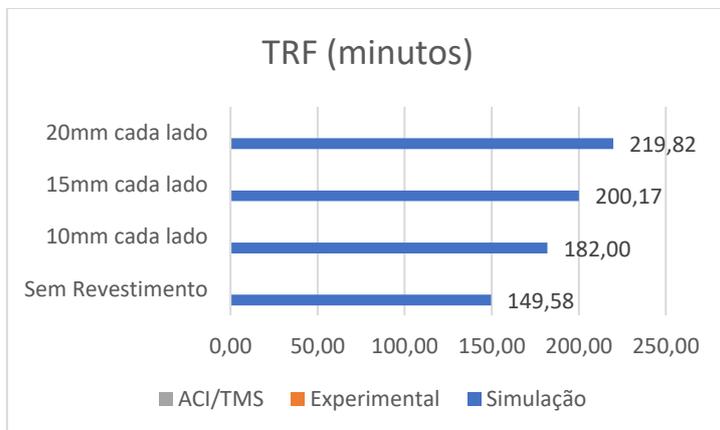


Gráfico 4 – Comparativo TRF BL-CE-2

Este gráfico também contém apenas os TRF de simulação, porém podemos analisar que devido a grande quantidade de furos e maior área de contato com o ar por dentro do prisma obtivemos TRF bem menores, mas ainda podemos evidenciar a grande qualidade da cerâmica de contenção de calor.

Espera-se realizar mais testes de simulação numérica como os previstos no projeto desta pesquisa, além de testes complementares para ajuda na fundamentação da futura Parte IV da NBR 16868.

CONCLUSÕES:

Os resultados parciais deste estudo indicam que a geometria interna dos blocos de alvenaria e a presença de revestimentos exercem influência mais significativa no Tempo de Resistência ao Fogo (TRF) do que variações na condutividade térmica do material. As análises sugerem que o método tabular da norma ACI/TMS tende a ser conservador para os casos estudados, enquanto a modelagem numérica se apresenta como uma ferramenta com grande potencial para previsões de desempenho mais realistas.

Conclui-se, preliminarmente, que a abordagem numérica é promissora para subsidiar o desenvolvimento da futura norma brasileira, reforçando que uma normatização segura deverá considerar as especificidades geométricas das unidades construtivas. No entanto, a validação definitiva desta abordagem depende da continuidade da pesquisa. A realização de mais testes comparativos, conforme planejado no projeto, será fundamental para consolidar estes achados e aumentar a assertividade das conclusões que irão fundamentar a futura Parte 4 da ABNT NBR 16868.

BIBLIOGRAFIA:

_____. **NBR 16868-1: Alvenaria estrutural – Parte 1 – Projeto**. Rio de Janeiro, 2020. 70p.

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

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 1996-1-2: Eurocode 6 - Design of masonry structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design**. [S.l.]. 2005b. 83p.

MEDEIROS, W. A. **Comportamento de blocos estruturais de concreto com diferentes agregados sob altas temperaturas**. 2022. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2022.

RODOVALHO, F. S.; CORRÊA, M. R. S. **Thermal simulation of prisms with concrete blocks in a fire situation**. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, São Paulo, v. 12, n. 3, p. 638-657, 2019.