

# AVALIAÇÃO DO ISOLAMENTO, EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO, DE PRISMAS DE ALVENARIA ESTRUTURAL COM BLOCOS DE CONCRETO, COM SUBSTRATO LISO, REVESTIDOS COM ARGAMASSA USUAL

**Palavras-Chave:** ISOLAMENTO TÉRMICO, ALVENARIA ESTRUTURAL, SITUAÇÃO DE INCÊNDIO, ANÁLISE EXPERIMENTAL

**Autores(as):**

**Davi Russo Freitas, FECFAU – UNICAMP**

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

**Eng. André Luiz Batista de Souza, FECFAU – UNICAMP**

## INTRODUÇÃO:

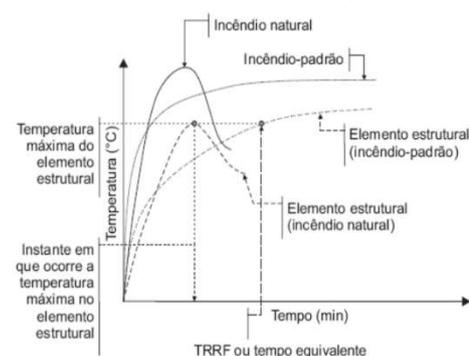
O estudo da alvenaria estrutural em situação de incêndio ainda é bastante incipiente no âmbito nacional e mesmo internacional. A normatização nacional ainda não contempla procedimentos de verificação da resistência ao fogo da alvenaria estrutural. A determinação analítica do Tempo de Resistência ao Fogo (TRF) em paredes de alvenaria estrutural no que se refere à isolamento térmico é feita, atualmente, empregando-se procedimentos de normas internacionais reconhecidas. Contudo, a aplicação direta de normas internacionais, sem prévia análise de compatibilidade aos materiais e técnicas de construção brasileiras, pode originar métodos não seguros.

A resistência ao fogo de um elemento estrutural representa sua capacidade de permanecer, sob a ação de incêndio e, durante um determinado período, exercendo as funções para as quais foi projetado (MORENO JÚNIOR e MOLINA, 2012). A esse período atribui-se a denominação de “Tempo de Resistência ao Fogo; o TRF (ABNT NBR 14432, 2001).

Entre os componentes da alvenaria, destaca-se o prisma e seu papel de referência para projetos, execução e controle de obras. Ensaio em prismas também são menos onerosos que os de paredes.

Esse projeto adiciona resultados aos já obtidos na FECFAU-UNICAMP sobre o comportamento da alvenaria estrutural em situação de incêndio. Para este projeto, os ensaios selecionados fazem parte de uma das pesquisas de doutorado em desenvolvimento, nas quais se avaliam argamassas de assentamento/revestimento, grautes, blocos e prismas de alvenaria estrutural expostos a altas temperaturas. Além de doutorandos, o grupo conta com alunos de mestrado e de bolsistas com iniciação científica em andamento.

O objetivo geral desta pesquisa é investigar a isolamento térmico e a estanqueidade de prismas com dois blocos de concreto estrutural, revestidos ou não, buscando uma maior gama de resultados nacionais para serem discutidos em relação a adaptação de procedimentos analíticos, provenientes de normatização internacional, para futura incorporação à normatização nacional.



**Figura 1:** Representação da curva de incêndio padrão e TRF - Rigão, 2012

Neste trabalho em particular investigou-se proposta de verificação da isolamento térmica em situação de incêndio da futura Parte 4 da ABNT NBR 16868 (originada de adaptação do ACI/TMS 216.1), à luz de resultados obtidos por modelagem numérica, via pacote de elementos finitos “ABAQUS”, e obtidos via avaliação em laboratório de prismas constituídos por dois blocos de concreto, com parede lisa (substrato liso), revestidos, na face fria, com argamassa usual aplicada em espessuras de 1cm e 2cm, e com e sem incremento adicional de aderência da argamassa de revestimento ao substrato do bloco, promovida por argamassa especial; o popular “chapisco”.

## METODOLOGIA:

Os prismas foram executados com blocos estruturais de concreto, Classe A, 18 MPa de resistência à compressão nominal e dimensões 14x39x19 cm (largura: comprimento: altura). Em alguns destes prismas foi aplicado, em uma das faces, o “chapisco”. Posteriormente, alguns prismas, com e sem chapisco, foram revestidos, em uma das faces, com argamassa de revestimento usual com 1cm e 2cm de espessura. No total foram ensaiados 15 prismas, 3 amostras para cada modelo. O “chapisco” foi executado no traço 1:3 (cimento: areia grossa em volume). No chapisco foram utilizados cimento Portland CP II F 32 e areia grossa de cava extraída em Pedreira - SP. A argamassa de revestimento foi a usual (ensacada e com aglomerante, agregado miúdo e aditivos). A argamassa de assentamento empregada foi a convencional (cimento, cal hidratada, areia, água). Nas Tabelas 1, 2 e 3, a seguir, são apresentadas as propriedades mecânicas de interesse nesta pesquisa para os blocos, argamassas e areia. Os diferentes prismas foram aquecidos de acordo com a curva ISO 834(figura 1), em forno elétrico existente no Laboratório de Estruturas e Materiais de Construção da FECFAU-UNICAMP (Figura 2), e a avaliação do isolamento e estanqueidade se deu segundo procedimento nacional em vigor para paredes (NBR5628,2001); com adaptações para o caso de prismas.

Os prismas foram instrumentados com termopares para medição da temperatura ao longo do ensaio. A Figura 3, a seguir, apresenta a disposição dos termopares; dispostos de maneira a monitorar a temperatura em pontos de interesse no prisma. Três dos termopares (3, 5 e 6) foram posicionados na face fria de maneira a monitorar o instante de perda da função de isolamento térmica; um termopar (2) na interface entre o prisma e o revestimento de maneira a monitorar a temperatura na região de interface substrato/argamassa de revestimento; outros dois termopares (1 e 4) na face quente de maneira a monitorar a temperatura na face aquecida do prisma e, por fim, um último termopar (7) para monitorar a

**Tabela 1:** Propriedades mecânicas dos blocos de 18MPa

Blocos	
Propriedades Geométricas	Valores Médios
Largura (mm)	140,9
Comprimento (mm)	390,8
Altura (mm)	189,1
Área Líquida (mm <sup>2</sup> )	30366,9
Área Bruta (mm <sup>2</sup> )	55058,2
Relação Alq/Abruta	0,551
Propriedades Físicas	Valores Médios
Massa no estado seco (g)	12634,3
Índice de absorção de água (%)	5,7
Propriedades mecânicas	Valores médios
Resistência média a compressão - f <sub>bm</sub> , aos 28 dias (MPa)	13,4
Resistência Característica – f <sub>bk</sub> , aos 28 dias (MPa)	11,8

**Tabela 2:** Propriedades mecânicas das Argamassas de Assentamento e Revestimento

Argamassa Mista de Assentamento 20MPa	
Propriedades no Estado Fresco	Valores Médios
Índice de consistência ABNT NBR13276:2016	260mm ± 20
Propriedades Mecânicas	Valores Médios
Resistência a tração na flexão em prismas 4x4x16cm, aos 28 dias (MPa).	3,859
Resistência à compressão cilindro 5x10cm, aos 28 dias (MPa), ABNT NBR 7215:2019	10,15
Módulo de deformação secante, aos 28 dias (GPa)	13,33
Argamassa Mista de Revestimento	
Propriedades no Estado Fresco	Valores Médios
Índice de consistência ABNT NBR13276:2016	260mm ± 20
Propriedades Mecânicas	Valores Médios
Resistência a tração na flexão em prismas 4x4x16cm, aos 28 dias (MPa).	0,92
Resistência à compressão cilindro 5x10cm, aos 28 dias (MPa), ABNT NBR 7215:2019	3,08
Módulo de deformação secante, aos 28 dias (GPa)	3,785

**Tabela 3:** DMC e MF da Areia

Areia Grossa de Cava	
Propriedade	Valores Médios
Dimensão Máxima Característica (mm)	1,18
Módulo de Finura	1,74

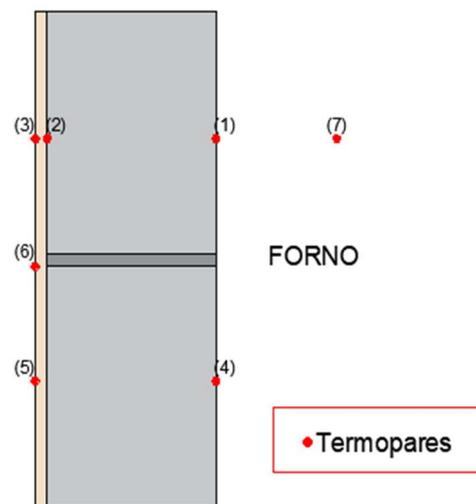
evolução da temperatura no forno.

Para a simulação numérica foi utilizado o *software* “ABAQUS”, permitindo realizar os testes com os prismas de maneira virtual, buscando mais uma forma de comparação de resultados. Com o uso desse *software* foi necessário a adaptação de algumas características mecânicas e térmicas para a simulação dos ensaios (emissividade, densidade, condutividade térmica e calor específico). Tais características também foram utilizadas na pesquisa de Rodvalho e Corrêa.

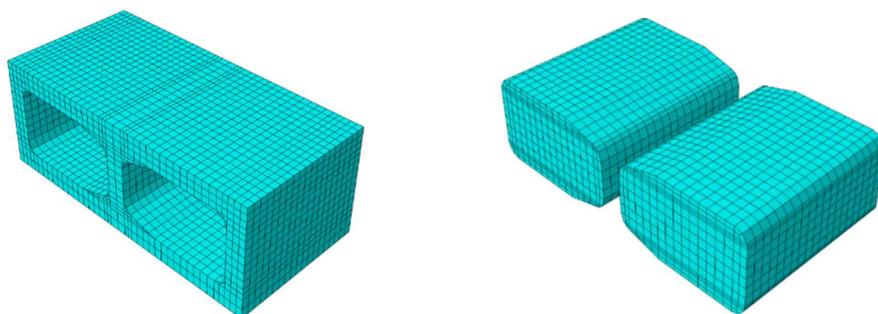
**Figura 2:** Detalhe do prisma posicionado para ensaio



**Figura 3:** Disposição dos Termopares



Na modelagem numérica dos prismas (Figura 4) foi considerada a geometria precisa dos blocos; considerando os vazios (massa de ar aquecida no interior) e mísulas entre suas paredes; a argamassa de assentamento e a camada de argamassa de revestimento. A modelagem numérica permitiu simular o tempo de resistência ao fogo (no que diz respeito à isolamento térmica) de cada ensaio experimental já realizado nesta pesquisa e nas anteriores similares.



**Figura 4:** a) Blocos vazios de concreto modelados no “ABAQUS” b) O vazio (ar) modelado no “ABAQUS”

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Até o momento, tem-se os resultados apresentados pelo Gráfico 1, contendo o TRF, para cada modelo ensaiado; obtido experimentalmente, calculado pelo método ACI/TMS 216.1, e obtido via simulação numérica. Apresenta-se, também, a título de comparação com os resultados deste trabalho, os resultados obtidos por Moniva, 2023, em pesquisa semelhante só que para blocos com substrato rugoso.

Observou-se, independente do parâmetro avaliado, valores previstos pelo método ACI/TMS 216.1 sempre inferiores aos obtidos em ensaio; o que sugere que o método pode ser aplicado, com segurança, à alvenaria estrutural nacional com necessário conservadorismo, usual em qualquer método analítico/tabular proposto em um código normativo. Esta diferença está atrelada não só ao citado conservadorismo do método mas, também, a eventuais diferenças de geometria e comportamento térmico dos blocos nacionais em comparação aos blocos americanos.

O Gráfico 1 também realça a influência da espessura do revestimento; sendo diretamente proporcional ao TRF, onde com o aumento da espessura do revestimento presente no prisma ocorria o aumento subsequente do TRF, independente da rugosidade do bloco ou da presença ou ausência do chapisco. Tal aumento também é encontrado presente nos processos analíticos; entretanto, observa-se

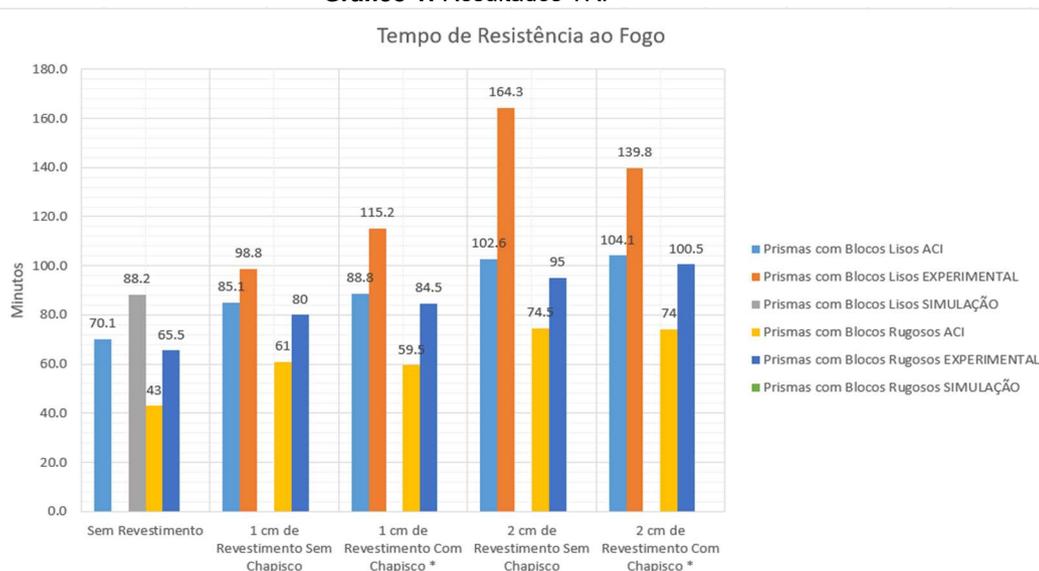
que a influência da espessura do revestimento é subestimada pelo método analítico do ACI/TMS (em comparação com os TRF experimentais).

Vale observar também, pelos resultados do Gráfico 1, que a execução do revestimento sobre camada prévia de chapisco no substrato mostrou-se pouco influente no TRF; entretanto, é válido observar que o chapisco tem a função de incremento de aderência do revestimento ao substrato e não de incremento do TRF, uma vez que as argamassas de chapisco e de revestimento são similares em sua composição.

No caso dos valores obtidos para o TRF via simulação numérica, observa-se que são superiores aos obtidos experimentalmente. Esta diferença está atrelada às propriedades térmicas e mecânicas adotadas para o bloco e já era esperada; visto que as citadas propriedades foram adotadas (via referências normativas internacionais) e não determinadas experimentalmente. Um “ajuste” paramétrico de valores numéricos e experimentais futuro pode ser efetuado de forma a obter-se uma estimativa destas propriedades térmicas de interesse. De antemão, pode-se concluir que as propriedades térmicas adotadas na simulação numérica não são as mais adequadas aos nossos blocos.

Por fim, vale observar que a rugosidade do bloco foi tomada, inicialmente, como um parâmetro de influência na isolamento térmica. Entretanto, observa-se que os blocos com substrato “liso”, com resistência de 18MPa, são bem mais densos que os blocos “porosos”, de resistência de 4,0 MPa. Este fato fez com que os blocos “lisos” tivessem um comportamento isolante bem melhor que os blocos ditos “rugosos”; o que não era esperado. Ressalta-se que a rugosidade do substrato não teve influência neste comportamento, mas sim a maior densidade do concreto da mistura dos blocos “lisos”, o que promoveu um maior TRF para estes blocos. Em trabalhos futuros convém empregar-se blocos com resistência à compressão semelhante e somente com diferenças na rugosidade de seus substrato.

**Gráfico 1: Resultados TRF**



\*A espessura equivalente para o método de cálculo do TRF pelo ACI/TMS nos prismas com revestimento equivale a média entre 8 pontos de medição da espessura real do revestimento dos blocos.

**Tabela 4: Resultados TRF**

Prismas	Média	Sem Revestimento	1 cm de Revestimento Sem Chapisco	1 cm de Revestimento Com Chapisco *	2 cm de Revestimento Sem Chapisco	2 cm de Revestimento Com Chapisco *
Prismas com Blocos Lisos	ACI	70.1	85.1	88.8	102.6	104.1
	EXPERIMENTAL		98.8	115.2	164.3	139.8
	SIMULAÇÃO	88.2				
Prismas com Blocos Rugosos	ACI	43	61	59.5	74.5	74
	EXPERIMENTAL	65.5	80	84.5	95	100.5
	SIMULAÇÃO					

Fonte: MONIVA, L. Y. Avaliação do isolamento, em situação de incêndio, de prismas de alvenaria estrutural. Relatório final, UNICAMP, 2023.

## CONCLUSÕES:

Devido aos dados apresentados, podemos concluir que, há uma influência direta e significativa no TRF relacionado ao tamanho e/ou presença do revestimento e da resistência à compressão do bloco (densidade da mistura de concreto). Ocorre também uma influência um pouco menor relacionada a presença ou ausência do chapisco. Destaca-se o quão conservador é o método do ACI/TMS e a diferença de um teste em realidade, mostrando, possivelmente, uma maior proximidade aos testes realizados na simulação numérica.

## BIBLIOGRAFIA

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5628: Componentes construtivos estruturais – Ensaio de resistência ao fogo**. Rio de Janeiro. 2022.

\_\_\_\_\_. **NBR 14432: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento**. Rio de Janeiro. 2001. 14p.

\_\_\_\_\_. **NBR 15200: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio**. Rio de Janeiro. 2024.

\_\_\_\_\_. **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.

LEITE, H. A. L.; MORENO JÚNIOR, A.; TORRES, D. L. Dimensionamento da alvenaria estrutural em situação de incêndio: contribuição à futura normatização nacional. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 2., p. 89-107, abr./jun. 2016.

MORENO JÚNIOR, A.; MOLINA, J. C. Considerações de interesse sobre a avaliação em laboratório de elementos estruturais em situação de incêndio: contribuições à revisão da NBR 5628: 2001. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 4., p. 37-53, out. /Dez. 2012.

PARSEKIAN, G.A.; MEDEIROS, W.A.; SIPP, G. High-rise concrete and clay block masonry building in Brazil. **Mauerwerk**, v. 22, n. 4, p. 260-272, 2018.

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

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

DASSAULT SYSTÈMES. Abaqus CAE: versão 6.14. [S. l.]: Dassault Systèmes, 2014. Disponível em: <<https://www.3ds.com/edu/education/students/solutions/abaqus-le>>. Acesso em: 3 mai. 2024.

MONIVA, Larissa Yukie. Avaliação do isolamento, em situação de incêndio, de prismas de alvenaria estrutural com blocos de concreto revestidos com argamassa mista de cal e cimento. 2023. Relatório final (PIBIC/CNPq/UNICAMP) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2023.