

Proposta para determinação do tempo de resistência ao fogo em alvenaria estrutural quanto à isolamento térmica

CLEBER EDUARDO FERNANDES LEAL – DOUTORANDO (ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8280-0447>) (CLEBER.EFL@HOTMAIL.COM) – PPGECIV/UFSCAR
 WALLISON ANGELIM MEDEIROS – PROF. SUBSTITUTO (ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2033-3788>) – CTU/UESPI
 GUILHERME ARIS PARSEKIAN – PROF. ASSOCIADO (ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5939-2032>) – PPGECIV/UFSCAR
 ARMANDO LOPES MORENO JÚNIOR – PROF. ASSOCIADO (ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7660-050X>) – FEC/UNICAMP

RESUMO

A NORMALIZAÇÃO NACIONAL AINDA NÃO CONTEMPLA PROCEDIMENTOS DE CÁLCULO PARA DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE RESISTÊNCIA AO FOGO (TRF) EM PAREDES DE ALVENARIA ESTRUTURAL NO QUE SE REFERE À ISOLAÇÃO TÉRMICA. CONTUDO, A APLICAÇÃO DIRETA DE NORMAS ESTRANGEIRAS, SEM PRÉVIA ANÁLISE DE COMPATIBILIDADE ÀS CONSTRUÇÕES BRASILEIRAS, PODE ORIGINAR MÉTODOS NÃO SEGUROS. NESTE TRABALHO, INVESTIGOU-SE A APLICAÇÃO DO MÉTODO ACI/TMS 216.1 A RESULTADOS OBTIDOS EM ENSAIOS NACIONAIS E PROPÔS-SE, COMO SUGESTÃO PARA FUTURA PARTE 4 DA ABNT NBR 16868, UM PROCEDIMENTO SIMPLIFICADO DE CÁLCULO. AO TODO, 12 ENSAIOS FORAM INVESTIGADOS, DETALHANDO-SE CARACTERÍSTICAS DA DISPOSIÇÃO DAS UNIDADES, DAS PAREDES EM SI E DOS REVESTIMENTOS. OS RESULTADOS EXPERIMENTAIS FORAM COMPARADOS COM OS CALCULADOS E AS SITUAÇÕES RELEVANTES FORAM ANALISADAS. EM FUNÇÃO DOS POUCOS ENSAIOS EXISTENTES E DAS DIFERENÇAS ASSOCIADAS AOS MATERIAIS E PRÁTICAS CONSTRUTIVAS ADOTADAS INTERNACIONALMENTE, ADAPTAÇÕES A FAVOR DA SEGURANÇA FORAM REALIZADAS, CULMINANDO EM UMA PROPOSTA COERENTE COM OS RESULTADOS OBTIDOS PARA VERIFICAÇÃO DA ALVENARIA ESTRUTURAL COM BLOCOS DE CONCRETO EM UM CONTEXTO NACIONAL.

PALAVRAS-CHAVE: ALVENARIA ESTRUTURAL, TEMPO DE RESISTÊNCIA AO FOGO, ISOLAÇÃO TÉRMICA.

1. INTRODUÇÃO

Após a unificação das normas de alvenaria estrutural que deu origem à ABNT NBR 16868:2020, a comissão de estudo

ABNT/CE-002:123.010 observou a necessidade de estudos brasileiros sobre segurança das estruturas de alvenaria estrutural em situação de incêndio para dar origem à Parte 4 da norma de alvenaria estrutural vigente (ABNT NBR 16868-1, 2020). Para tanto, o grupo de trabalho Alvenaria Estrutural em Situação de Incêndio foi criado.

Concebe-se que a aplicação direta de normas internacionais, sem prévia análise de compatibilidade às construções brasileiras, pode originar métodos não seguros para verificações em incêndio. São significativas as diferenças associadas à geometria, à composição e às práticas construtivas adotadas no Brasil e em outros países. Dessa forma, este trabalho apresenta como sugestão para futura Parte 4 da ABNT NBR 16868, um procedimento simplificado para determinar o Tempo de Resistência ao Fogo (TRF) no que diz respeito ao critério de isolamento térmica, baseando-se na proposta original apresentada por Leite, Moreno Júnior e Torres (2016), na análise de resultados experimentais nacionais e em uma adaptação do código norte-americano ACI/TMS 216.1:2014.

Neste sentido, a grande contribuição do artigo ao meio técnico-científico e à indústria da construção civil é a proposta, para futura Parte 4 da ABNT NBR 16868, de um procedimento simplificado de cálculo no que se ao critério de isolamento térmica.

2. CONCEITOS: RESISTÊNCIA AO FOGO E CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

O Tempo de Resistência ao Fogo (TRF) representa, em minutos, a capacidade limi-

te de um elemento construtivo submetido ao incêndio. É definido para cada critério avaliado, tais como: capacidade portante, integridade, isolamento térmica. Este tempo está diretamente associado à composição do elemento de construção e às propriedades físico-químicas de seus materiais constituintes. O Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF) corresponde a um período mínimo (em minutos) estabelecido pela ABNT NBR 14432: 2001 durante o qual os elementos construtivos sujeitos a um incêndio-padrão (Equação 1, segundo ABNT NBR 16965: 2021) devem manter-se resistentes ao fogo. A determinação do TRRF está relacionada ao tempo requerido para conclusão segura do trabalho das brigadas de combate ao incêndio e eventuais desocupações. Não depende diretamente dos materiais empregados na edificação, mas sim de características gerais atreladas ao tipo de lotação e à dificuldade de acesso/evacuação do local, como, por exemplo, as condições de uso e ocupação, altura e profundidade de subsolo.

$$[1] \quad T = 345 \cdot \log_{10}(8 \cdot t + 1) + 20$$

Onde:

T = temperatura dos gases quentes no compartimento incendiado (°C);

t = tempo (em minutos).

2.1 Critérios de desempenho para determinação da resistência ao fogo

De acordo com a ABNT NBR 16945: 2021, elemento construtivo é toda parte

TABELA 1

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)

que compõe a edificação (ex.: paredes, divisórias, tetos, vigas ou pilares). Revisadas recentemente, as normas ABNT NBR 5628: 2022 e ABNT NBR 10636: 2022 fornecem diretrizes para realização do ensaio de resistência ao fogo em elementos construtivos estruturais e não estruturais, respectivamente. Elementos do sistema alvenaria estrutural devem, portanto, ser testados segundo a primeira norma.

A resistência ao fogo de um elemento construtivo pode ser determinada segundo critérios de desempenho. No caso da Alvenaria Estrutural, onde as paredes suportam cargas verticais e podem exercer a função de compartimentação, aplicam-se, sobretudo, os seguintes critérios: Capacidade Portante - R, Integridade - E, Isolamento Térmico - I, Redução da Radiação Térmica - W e Ação Mecânica - M, conforme ABNT NBR 16945: 2021. Critérios adicionais e específicos também podem ser avaliados. Para cada critério, determina-se um valor de TRF. Para paredes de alvenaria, na grande maioria das situações, o critério de isolamento térmico é o primeiro a ser atingido e, conseqüentemente, tende a apontar o menor valor de TRF.

3. METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DA ISOLAÇÃO TÉRMICA: MÉTODO ACI/TMS 216.1 (2014)

O código norte-americano apresenta um método analítico tabular que leva em consideração a contribuição do revestimento no lado exposto ou no lado protegido do fogo. São consideradas geometria e composição das unidades, espessura e composição dos materiais de revestimento, bem como eventual preenchimento das unidades com graute ou outros materiais.

A verificação pelo método normativo baseia-se na determinação de “espessuras equivalentes”. O parâmetro é obtido para a unidade — T_e (bloco ou tijolo maciço), para o revestimento — T_{ef} , e, por fim, para a parede de alvenaria como uma composição de ambos — T_{ea} . As espessuras equivalentes para a UNIDADE e para a PAREDE de alvenaria estrutural são determinadas pela Equação 2 e pela Equação 3, respectivamente:

$$[2] T_e = \frac{Vn}{LH}$$

$$[3] T_{ea} = T_e + T_{ef}$$

Onde:

T_{ea} é a espessura equivalente da parede de alvenaria;

T_e é a espessura equivalente da unidade;

T_{ef} é a espessura equivalente do revestimento;

V_n é o volume líquido da unidade;

L é o comprimento nominal da unidade e;

H é a altura nominal da unidade.

Cabe destacar que a definição de “espessura equivalente” apresentada pela ABNT NBR 6136 para blocos vazados de concreto está equivocada. O cálculo da propriedade segundo a norma brasileira não condiz com o que é posto pela normalização internacional (ASTM C140/C140M-14, ACI/TMS 216.1) e não deve, portanto, ser utilizado. A definição correta e que consta no texto preliminar do projeto de norma ABNT/CE-002:123.010 - PN 002:123.010-001/4 é: “espessura equivalente - dimensão equivalente ao volume líquido do bloco ou tijolo pela sua área da face lateral exposta ao fogo”.

Em blocos vazados totalmente preenchidos com material solto, o valor de T_e também será igual a própria espessura do bloco, desde que o material de preenchi-

mento seja areia, pedrisco ou brita 1, argila expandida, cinzas volantes expandidas, cinzas, perlita ou vermiculita.

Em paredes revestidas, no lado não exposto ao fogo, a espessura equivalente T_{ef} é o resultado da multiplicação entre a espessura real da camada de revestimento e um fator de correção, em função do material de acabamento utilizado (ex.: gesso ou argamassa de cimento Portland) e do substrato onde é aplicado (ex.: tipo de agregado usado no concreto do bloco, tipo de alvenaria cerâmica), conforme exige a Tabela 1.

Nas paredes com acabamento aplicado sobre o lado exposto ao fogo, a contribuição do revestimento é computada ao final, como um acréscimo direto de tempo ao valor do TRF. A Tabela 2 apresenta os acréscimos correspondentes.

A contribuição dos acabamentos (em ambas as faces) para a resistência ao fogo do conjunto deve ser limitada à metade da contribuição atribuída à parede sem acabamento.

Por fim, o resultado da Equação 3 (T_{ea}) deve ser comparado a valores mínimos de

TABELA 2

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 ESPESSURAS EQUIVALENTES MÍNIMAS DE ALVENARIA E O TRF (TABELA 3), PERMITE-SE CONSIDERAR A ESPESSURA 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)

TABELA 3

ESPESSURA EQUIVALENTE MÍNIMA (T_{ea}) 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)

espessura equivalente e Tempos de Resistência ao Fogo correspondentes, por meio da Tabela 3.

4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS: NACIONAIS E ANÁLISE PELO MÉTODO AMERICAN CONCRETE INSTITUTE

Medeiros, Parsekian e Moreno Jr. (2021) pontuaram que o código americano (ACI) se atém aos critérios de isolamento térmica

TABELA 4

RESULTADOS OBTIDOS DE ENSAIOS EM PAREDES DE ALVENARIA ESTRUTURAL COM BLOCOS VAZADOS DE CONCRETO

Linha tabela	Id. do ensaio ^B	Unidade ^A			Parede			Revestimento			Resultado do ensaio		
		LxC (cm) ^C	Vn (cm ³) ^D	Classe de aplicação (f_{bk})	CxA (m) ^E	Carga	Arg. assent. ^F	Face exposta (interna) ^G	Face não exposta (externa) ^G	Houve queda? ^H	I (min) ^I	E (min) ^J	R (min) ^K
1	1123 380-203	14 x 39	5244	A (12,4 MPa)	2,60 x 2,60	10.000 kgf/m	Ind. (1 cm)	Não	Não	Não	80	> 120	> 120
2	1107 993-203	14 x 39	5244	B (7,5 MPa)	2,60 x 2,60	10.000 kgf/m	Mold. in-loco 1:2:9 (1 cm)	Gesso (1cm)	Gesso (1 cm)	Não	> 120	> 120	> 120
3	1072 608-203	14 x 39	3790,5	C (4,6 MPa)	2,60 x 2,60	Não	Ind. (1 cm)	Chapisco + Arg. Ind. (2 cm)	Não	Não	106	> 120	> 120
4	1050 328-203	19 x 39	4674	C (4,0 MPa)	2,70 x 2,62	Não	Ind. (1 cm)	Chapisco + Arg. Ind. (2cm)	Não	Não	151	> 180	> 180
5	1081 659-203	19 x 39	4674 L	C (4,2 MPa)	2,60 x 2,60	Não	Ind. (1 cm)	Chapisco + Arg. Ind. (2 cm)	Não	Não	> 240	> 240	> 240
6	1097 722-203	14 x 39	5244	B (7,2 MPa)	2,60 x 2,60	10.000 kgf/m	Ind. (1 cm)	Chapisco Ind. + Arg. Ind. (2,5 cm)	Não	Face exposta (12 min)	101	> 120	> 120
7	1076 540-203	14 x 39	3790,5	C (4,6 MPa)	2,60 x 2,60	Não	Ind. (1cm)	Arg. Ind. (1,5 cm)	Arg. Ind. (1,5 cm)	Face exposta (9 min)	98	90	> 120
8	1076 555-203	14 x 39	5244	B (5,1 MPa)	2,60 x 2,60	10.000 kgf/m	Ind. (1 cm)	Arg. Ind. (1,5 cm)	Arg. Ind. (1,5 cm)	Face exposta (9 min)	107	> 120	> 120
9	0874/2015	14 x 39	5244	A (9,0 MPa)	3,05 x 2,80 ^m	9.174 kgf/m	Ind.	Chapisco Mold. in loco 1:4 + Arg. Ind. (2 cm)	Chapisco Mold. in loco 1:4 + Arg. Ind. (2 cm)	Não	180,5	> 240	> 240
10	RE 855 139	14 x 39	3790,5	C	2,60 x 2,80	Não	Ind. (1 cm)	Arg. Ind. (1 cm)	Arg. Ind. (2,5 cm)	Não	150	> 180	> 180
11	RE 855 138	19 x 39	4674	C	2,60 x 2,80	Não	Ind. (1 cm)	Arg. Ind. (1 cm)	Arg. Ind. (2,5 cm)	Não	220	> 240	> 240
12	RE 868 255	19 x 39	4674	C	2,60 x 2,60	Não	Ind. (1 cm)	Chapisco + Arg. Ind. (1 cm)	Chapisco + Arg. Ind. (2,5 cm)	Não	> 240	> 240	> 240

LEGENDA: **A** = Considerando blocos de concreto produzidos com agregados silicosos; **B** = Identificação do ensaio - número do relatório; **C** = Largura (L) e Comprimento (C) da unidade em centímetros. Todas as unidades com 19 cm de altura nominal; **D** = Volume líquido da unidade em centímetros cúbicos. Igual ao volume bruto (LxCxA), descontando-se os furos; **E** = Comprimento (C) e Altura (A) da parede de alvenaria, em metros; **F** = Tipo da argamassa de assentamento (industrializada ou moldada in loco) e espessura da junta em centímetros; **G** = Material utilizado no revestimento e espessura da camada, em centímetros; **H** = Face da parede e momento do ensaio em que foi constatada queda do revestimento; **I** = Momento em que o critério de Isolamento Térmico foi atingido. Quando presente, o símbolo > significa interrupção do ensaio antes que o critério fosse aferido; **J** = Momento em que o critério de Integridade foi atingido. Quando presente, o símbolo > significa interrupção do ensaio antes que o critério fosse aferido; **K** = Momento em que o critério de Capacidade Portante foi atingido. Quando presente, o símbolo > significa interrupção do ensaio antes que o critério fosse aferido; **L** = Preenchimento total dos furos com graute 25 MPa; **M** = A região voltada ao forno compreende 2,5 m x 2,5 m.

FONTE: BLOCOBRASIL (2021)

TABELA 5

RESULTADOS OBTIDOS DE ENSAIOS EM ALVENARIA ESTRUTURAL COM BLOCOS DE CONCRETO PELO MÉTODO ACI/TMS 216.1

Linha tabela	Identificação do ensaio ^A	Isolação térmica (I): cálculo conforme ACI/TMS 216.1						
		Unidade - T _e (cm) ^B	Lado exposto - T _{ef} (min) ^C	Lado não exposto - T _{ef} (cm) ^D	Parede - T _{ea} (cm) ^E	TRF (I) - calculado (min) ^F	TRF (I) - calculado - sem lado exposto (min) ^G	TRF (I) ensaio (min) ^H
1	1123 380-203	7,1	Não	Não	7,1	60	60	80
2	1107 993-203	7,1	11	1,25	8,3	89	78	>120
3	1072 608-203	5,1	22	Não	5,1	52	30	106
4	1050 328-203	6,3	22	Não	6,3	70	48	151
5	1081 659-203	19,0 ^I	22	Não	19,0	347	325	>240
6	1097 722-203	7,1	29	Não	7,1	89	60	101
7	1076 540-203	5,1	14	1,5	6,6	66	52	98
8	1076 555-203	7,1	14	1,5	8,6	96	82	107
9	0874/2015	7,1	22	2	9,1	111	89	180,5
10	RE 855 139	5,1	6	2,5	7,6	73	67	150
11	RE 855 138	6,3	6	2,5	8,8	91	85	220
12	RE 868 255	6,3	6	2,5	8,8	91	85	>240

LEGENDA: **A** = Identificação do ensaio - número do relatório; **B** = Espessura equivalente da unidade (Calculada pela Equação 2); **C** = Contribuição do revestimento no LADO EXPOSTO. Acréscimo direto de tempo (em minutos) no valor do TRF (I); **D** = Contribuição do revestimento no LADO NÃO EXPOSTO. Espessura equivalente do revestimento (T_{ef}) a ser somada à espessura equivalente da unidade (T_e), conforme Equação 3; **E** = Espessura equivalente da parede de alvenaria (T_{ea}) obtida conforme Equação 3; **F** = TRF calculado pelo método ACI/TMS 216.1 para o critério de Isolação Térmica; **G** = TRF calculado pelo método ACI/TMS 216.1 para o critério de Isolação Térmica desconsiderando a contribuição de revestimento na face exposta ao fogo; **H** = TRF obtido no ensaio para o critério de Isolação Térmica (Tabela 4). O símbolo > significa interrupção do ensaio antes que o critério fosse auferido; **I** = Preenchimento total dos furos com graute 25 MPa. * = Não é possível determinar a relação, uma vez que o ensaio foi interrompido.

e integridade e que a consideração de diferentes tipos de revestimentos, embora detalhada, não contempla exatamente a prática usual das construções brasileiras como, por exemplo, revestimentos de gesso com 0,5 cm de espessura e revestimentos de argamassa com 1 cm de espessura.

Neste item, apresentam-se os resultados da aplicabilidade do método proposto pelo ACI/TMS 216.1 aos resultados nacionais de resistência ao fogo para alvenarias produzidas com blocos de concreto. Foram reunidos 12 resultados, ensaiados conforme as diretrizes da ABNT NBR 5628 (paredes com carga) ou da ABNT NBR 10636 (paredes sem carga).

A Tabela 4 apresenta as principais informações dos resultados de ensaio de resistência ao fogo em paredes com blocos de concreto. Na grande maioria das situações, o critério de isolação térmica foi o primeiro a ser atingido. A Tabela 5 apresenta o cálculo do TRF para o critério de Isolação Térmica segundo o método ACI/TMS 216.1.

A comparação entre os resultados da 4ª e 5ª linha da Tabela 4 demonstra um aumento significativo no valor de TRF quando, entre paredes de características semelhantes, varia-se apenas o preen-

chimento total dos furos com graute. No primeiro ensaio, com blocos ocios, o TRF foi de 151 minutos. No segundo ensaio, com preenchimento de graute com 25 MPa, o TRF foi ao menos 240 min quando o ensaio foi interrompido. O aumento da espessura efetiva da alvenaria, como resultado do preenchimento dos furos,

refletiu em um aumento significativo do TRF.

Entre os resultados apresentados na Tabela 4, destacam-se os das linhas 6, 7 e 8 de argamassas cimentícias industrializadas. Nesses três ensaios relatou-se a ocorrência de deslocamento do revestimento aplicado nas faces das paredes expostas ao fogo (Figura 1).



FIGURA 1

DESLOCAMENTO DO REVESTIMENTO DE ARGAMASSA CIMENTÍCIA INDUSTRIALIZADA NA FACE EXPOSTA DA PAREDE

FONTE: BLOCOPRASIL (2021)

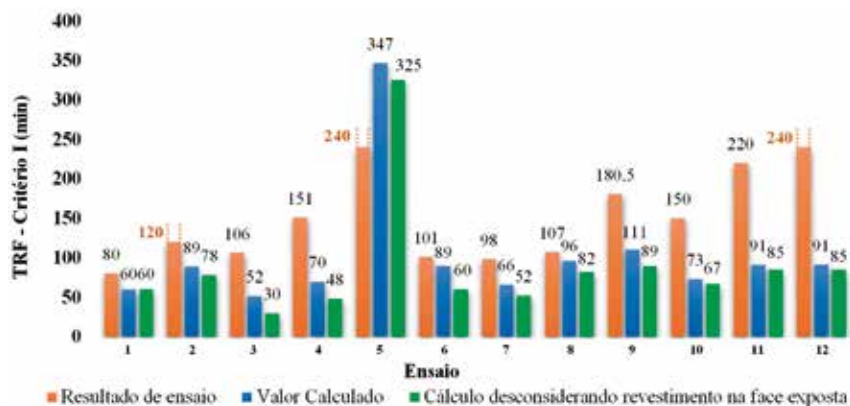


FIGURA 2

ISOLAÇÃO TÉRMICA: COMPARAÇÃO ENTRE RESULTADOS OBTIDOS E OS CALCULADOS PELO MÉTODO ACI/TMS 216.1 PARA ALVENARIA COM BLOCOS DE CONCRETO NAS 12 SITUAÇÕES DE ESTUDO

O método ACI considera a contribuição de revestimentos na face quente como acréscimos diretos de tempo ao TRF da parede. No entanto, existirão situações nas quais o revestimento se desprenderá (mesmo que parcialmente) em tempos menores às contribuições previstas. O acréscimo estimado pelo método ACI para uma parede com 2,5 cm de revestimento argamassado na face exposta é de 29 minutos. No ensaio da mesma parede, registrou-se o deslocamento do revestimento aos 12 minutos e um TRF de 101 min (6ª linha da Tabela 5). Comparando o TRF obtido neste ensaio com o TRF de 80 min. obtido em uma parede testada sem revestimento (1ª linha da Tabela 5), tem-se uma diferença de 21 minutos. Essa diferença proporcionada pela

presença dos 2,5 cm de argamassa na face exposta, na prática, é menor que a previsão estimada pelo método ACI em 8 min.

O gráfico contido na Figura 2 apresenta, para o critério de Isolação Térmica, os resultados experimentais de TRF e aqueles calculados, para as mesmas condições, pelo Método ACI/TMS 216.1. As colunas com trechos pontilhados representam os ensaios que foram interrompidos. A terceira coluna adicionada ao gráfico indica valores calculados sem a contribuição do revestimento na face exposta.

O gráfico da Figura 3 expressa as relações entre os valores do TRF(I) obtidos em laboratório e os calculados pelo Método ACI/TMS 216.1 considerando e não considerando o revestimento na face exposta.

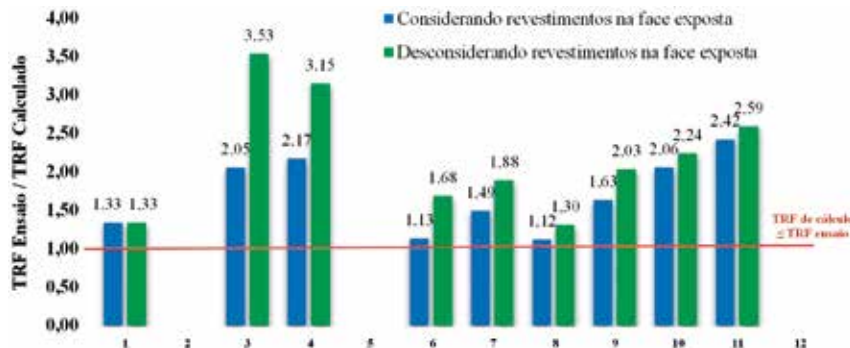


FIGURA 3

RELAÇÕES ENTRE RESULTADOS REAIS E CALCULADOS PELO MÉTODO ACI/TMS 216.1 PARA ALVENARIA COM BLOCOS DE CONCRETO

Na Figura 3, observa-se que os valores para a relação entre os resultados experimentais e os calculados vão de 1,12 a 2,42. Nota-se que a diferença entre o valor de TRF obtido em laboratório e o estimado aumenta à medida que o revestimento é inserido e, de forma mais pronunciada, quando isto ocorre na face não exposta ao fogo.

De modo geral, o Método ACI/TMS 216.1 mostra-se a favor da segurança para alvenaria estrutural em blocos de concreto, quando aplicado às mesmas circunstâncias reproduzidas nos ensaios. Essa segurança, no entanto, tende a diminuir para situações em que há o deslocamento do revestimento. Com exceção da relação 1,33, que corresponde a uma parede não revestida (ensaio 1, conforme Figura 2), as menores relações (1,13 e 1,12) advêm de testes onde o deslocamento do revestimento na face exposta foi registrado.

Cabe considerar que as curvas do ACI foram obtidas com base em um volume de resultados de ensaios que não corresponde à realidade brasileira. Além disso, os procedimentos de execução do revestimento no Brasil e nos Estados Unidos são diferentes. Desse modo, recomenda-se a não consideração do revestimento na face exposta para o cálculo de TRF (I).

5. RECOMENDAÇÃO PARA PROJETO QUANTO AO CRITÉRIO DE ISOLAÇÃO TÉRMICA (I)

Os autores propõem a seguinte recomendação para elaboração de projeto no que tange à resistência ao fogo de paredes de alvenaria, quanto ao critério de isolação térmica (I).

A espessura equivalente de uma parede de alvenaria, T_{ea} , é a soma entre a espessura equivalente da unidade, T_e , e a espessura equivalente de seu acabamento, T_{ef} , conforme apresentado na Equação 3. Sendo a espessura equivalente da unidade (T_e) calculada pela Equação 2.

Destacando-se que:

- ▶ Em paredes não grauteadas ou parcialmente grauteadas, a espessura equivalente, T_e , deverá ser determinada pela Equação 3, em função do volume líquido do bloco, V_n ;
- ▶ Em blocos vazados totalmente preenchidos com material solto, a espessura equivalente, T_e , deverá ser a própria espessura do bloco quando o material de preenchimento for graute, areia, brita 0 ou brita 1, argila expandida, cinzas

TABELA 6

COMPARATIVO ENTRE A ESPESSURA EQUIVALENTE PARA BLOCOS DE CONCRETO INDICADA PELA ABNT NBR 6136 E OS VALORES CALCULADOS NO PRESENTE ARTIGO

Classe	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Espessura equivalente	
			ABNT NBR 6136	Valores calculados ¹
A/B	190	390	188	88,2
A/B	140	390	188	67,3
A/B	140	290	188	73,3
C	190	390	135	57,3
C	140	390	135	50,4
C	140	290	135	55,4
C	115	390	135	46,9
C	115	240	135	53,8
C	115	365	135	47,7
C	90	390	135	43,5
C	90	290	135	46,1
C	65	390	113	34,0

¹ CONSIDERANDO AS ESPESSURAS MÍNIMAS DAS PAREDES DO BLOCO DE CONCRETO PRISMÁTICO

volantes expandidas, cinzas, perlita ou vermiculita.

Os blocos de concreto seguem as especificações da ABNT NBR 6136. Na Tabela 6, comparam-se os valores de espessura equivalente indicados pela ABNT NBR 6136 e os valores calculados de acordo com a Equação 2, considerando as dimensões normativas mínimas para paredes do bloco.

Para o cálculo da espessura equivalente do acabamento, T_{ef} , deve-se considerar o tipo de substrato (blocos de concreto, cerâmicas) e se o acabamento é aplicado sobre a face exposta ao fogo ou sobre a face não exposta.

Quando o acabamento se encontra na face não exposta ao fogo, sua espessura deve ser ajustada por um fator multiplicador, que se encontra na Tabela 1. Essa espessura ajustada (T_{ef}) deverá ser somada à espessura equivalente da unidade (T_e) para que a espessura equivalente da parede (T_{ea}) seja encontrada.

Quando o acabamento se encontra na face exposta ao fogo, a espessura equivalente da parede (T_{ea}) será igual à espessura equivalente do bloco (T_e). Os autores consideram prudente não se considerar a contribuição dessa face, mesmo acreditando que exista colaboração.

A partir espessura equivalente da parede (T_{ea}), o valor de TRF pode ser determinado a partir da Tabela 3.

6. CONCLUSÕES

O critério de Isolamento Térmico mostra-se relevante por ser, na maioria

das situações, o primeiro a ser alcançado.

Entre as características da parede que mais influenciam na resistência ao fogo para o referido critério estão a geometria das unidades (mais especificamente, seu volume líquido), composição e espessura do revestimento na face não exposta ao fogo. O preenchimento dos furos também se mostra eficiente, mesmo para unidades de menores espessuras.

De uma forma geral, a aplicação do Método ACI/TMS 2016.1 apresenta-se adequado para as circunstâncias em que são realizados os ensaios brasileiros. Contudo, a pouca quantidade de resultados nacionais aliada à diferença entre os procedimentos construtivos adotados localmente e em outros países recomenda, nesta

primeira proposta, a não consideração do revestimento nas faces expostas ao fogo. Diante das diferentes geometrias das unidades disponíveis em território nacional, também se propõe que, na falta de ensaio específico para o bloco a ser utilizado, dimensões normativas mínimas sejam adotadas para a determinação das espessuras equivalentes (T_e).

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES e à Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP (Projeto No: 2018/19748-9) pelo fomento às pesquisas dos autores deste trabalho. ☺

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16868-1: Alvenaria estrutural - Parte 1: Projeto. Rio de Janeiro, 2020. 70p.
- [2] LEITE, H. A. L., MORENO JÚNIOR, A. L., 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.
- [3] 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.
- [4] ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14432: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento. Rio de Janeiro, 2001. 14p.
- [5] _____. NBR 16965: Ensaio de resistência ao fogo de elementos construtivos - Diretrizes gerais. Rio de Janeiro, 2021. 47p.
- [6] _____. NBR 16945: Classificação da resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações. Rio de Janeiro, 2021. 69p.
- [7] _____. NBR 5628: Componentes construtivos estruturais - Ensaio de resistência ao fogo. Rio de Janeiro, 2022. 65p.
- [8] _____. NBR 10636-1: Componentes construtivos não estruturais - Ensaio de resistência ao fogo - Parte 1: Paredes e divisórias de compartimentação. Rio de Janeiro, 2022. 46p.
- [9] _____. NBR 6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos. Rio de Janeiro, 2016. 10p.
- [10] ASTM, AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C140/C140M-14: Standard Test Method for Compressive Strength of Masonry Prisms and Related Units. West Conshohocken, 2014.
- [12] MEDEIROS, W. A., PARSEKIAN, G. A., MORENO JÚNIOR, A. L. Critical analysis of the use of international codes and standards to design Brazilian structural masonry in fire situation. International Journal of Masonry Research and Innovation, v. 6, n.3, 2021.
- [13] ASSOCIAÇÃO BLOCOPRASIL. Manual de Desempenho: Alvenaria com Blocos de Concreto. São Paulo, 2021.