

INFLUÊNCIA DE MÉTODOS DE CÁLCULO DO TRRF NA VERIFICAÇÃO DE EDIFÍCIOS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

T. V. N. Narques¹, T. D. Silva², F. J. R. Mascarenhas³, J. C. dos S. Canhada⁴, A. L. Christoforo⁵, R. C. Carvalho⁶
Universidade Federal de São Carlos^{1,2,3,5,6}, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"⁴
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5133-8456>³
fer.jr.resende@hotmail.com³

Submetido 12/06/2020 - Aceito 06/02/2021

DOI: 10.15628/holos.2021.10412

RESUMO

Faz-se necessário, para realizar a verificação de estruturas de concreto em situação de incêndio, conhecer o Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF) dos elementos estruturais. Tanto a ABNT NBR 14432 (2001) quanto a ABNT NBR 15200 (2012) permitem a determinação deste pelo Método Tabular (MT) ou pelo Método do Tempo Equivalente (MTE). Apesar de ambos serem aceitos, comumente encontra-se no meio técnico e científico discussões e aplicações do MT, uma vez que esse conduz com frequência aos maiores valores de TRRFs. A aplicação de métodos que conduzam a TRRFs menores se justifica por conduzir a estruturas mais econômicas, tendo em vista que os

métodos de verificação de estruturas em condição de incêndio se pautam nestes, para definir as dimensões mínimas dos elementos estruturais. Sendo assim, a presente pesquisa objetivou avaliar a influência da aplicação dos resultados dos dois métodos de determinação de TRRF na verificação de um edifício residencial multifamiliar de paredes de concreto. Inicialmente, foram calculados os TRRFs pelos dois métodos e, posteriormente, realizada a verificação da edificação segundo as especificações da ABNT NBR 15200 (2012). A adoção do MTE garantiu uma redução de 12,5% de consumo de concreto, evidenciando a importância da aplicação do mesmo.

PALAVRAS-CHAVE: Segurança Estrutural, Incêndio, Parede de Concreto, TRRF.

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF THE STANDARD FIRE RESISTANCE CALCULATION METHODS IN THE VERIFICATION OF CONCRETE WALL BUILDINGS

ABSTRACT

It is necessary, in order to carry out the assessment of concrete structures in a fire situation, to know the Standard Fire Resistance of the structural elements. Both the ABNT NBR 14432 (2001) and the ABNT NBR 15200 (2012) allow the determination of the Standard Fire Resistance by the Tabular Method or by the Equivalent Time Method. Even though both are accepted, it is commonly found in the technical and scientific field, discussions and applications of the Tabular Method, which frequently leads to higher figures of Standard Fire Resistance. The application of methods that lead to a lower Standard Fire Resistance is justified by the analysis of more economical structures, since the methods of

verification of structures in fire conditions are based on these, to define the minimum dimensions of the structural elements. Therefore, the present research aimed to evaluate the influence of the application of the results of the two methods of Standard Fire Resistance determination in the verification of a multifamily residential building with concrete walls. Initially the Standard Fire Resistance was calculated by both methods and then, the building was verified according to the specifications of the ABNT NBR 15200 (2012). The usage of the Equivalent Time Method ensured a reduction of 12.5% in the concrete consumption, outlining the importance of its application.

KEYWORDS: Structural Security, Fire, Concrete Wall, Standard Fire Resistance.



1 INTRODUÇÃO

A norma brasileira ABNT NBR 15200 (2012) estabelece que a verificação de estrutura em situação de incêndio tem por objetivo limitar os riscos à vida humana, à sociedade, à propriedade exposta ao fogo e suas vizinhanças. Estes objetivos são considerados atendidos quando a estrutura apresenta características que garantam estanqueidade quanto à passagem das chamas, certo nível de isolamento térmico e capacidade de suporte da construção como um todo.

Tendo em vista a grande quantidade de variáveis que influenciam na análise de estruturas na condição de incêndio, diversas pesquisas têm sido desenvolvidas com foco nessa temática. Como contribuição relevante ao meio técnico-científico em relação a estruturas em situação de incêndio, Bolina et al. (2015) realizaram um trabalho de natureza experimental com paredes de vedação de concreto armado, cujo objetivo consistiu em avaliar o potencial destes elementos em termos de resistência ao fogo. Os ensaios foram realizados segundo às prescrições da ABNT NBR 10636 (1989) em forno vertical normatizado e calibrado com paredes em escala real. Os autores constataram que paredes com 10 cm de espessura garantem o atendimento aos requisitos de estanqueidade e isolamento térmico exigidos pela referida norma, porém, não avaliaram sua capacidade de suporte, pois focaram no comportamento das mesmas como elementos de vedação e não como elementos estruturais.

Sabe-se que tanto a resistência à compressão do concreto quanto à resistência ao escoamento do aço decrescem com o aumento da temperatura, em consequência disso, os elementos estruturais de concreto armado, sob condição de incêndio, acabam sofrendo redução de suas capacidades resistentes, podendo inclusive chegar ao colapso (KODUR; YU.; SOLHMIRZAEI, 2017). Para que se garanta a segurança das edificações quanto à capacidade resistente de seus elementos estruturais, faz-se necessário o conhecimento da temperatura atuante em cada um destes quando submetidos a condições de incêndio, para que a partir desta se consiga determinar suas capacidades resistentes. A favor da segurança, admite-se que o incêndio irá sempre atingir sua temperatura máxima, porém, a determinação precisa desta é praticamente impossível devido às diversas particularidades de cada edificação.

Em função da dificuldade para a determinação desta temperatura, as normas técnicas nacionais permitem que se adote, para prever a temperatura máxima de um incêndio, a curva de incêndio padrão – constante na *International Organization for Standardization* ISO 834-1 (1999) – associada a tempos padronizados de incêndio convencionados pelo meio técnico, denominados Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF) (SILVA, 2016).

Conforme definição da norma ABNT NBR 14432 (2001), o TRRF é o tempo mínimo de resistência ao fogo exigido de um elemento construtivo qualquer, quando sujeito às condições de incêndio padrão, podendo este ser determinado pelo Método Tabular (MT), apontado pela referida norma, ou pelo Método do Tempo Equivalente (MTE), apresentada no Anexo A da ABNT NBR 15200 (2012) e discutido de forma mais ampla no trabalho de Costa e Silva (2017).



Segundo os autores, o MTE normatizado na ABNT NBR 15200 (2012) é na verdade um procedimento para redução dos valores de TRRFs, e não um método de cálculo de TRRF propriamente dito, como é o caso do Método do Tempo Equivalente original normatizado pelo Eurocode. Porém, apesar de não ser considerado um método de cálculo de TRRF, o MTE nacional determina o Tempo Requerido de Resistência ao Fogo assim como o MT e o MTE europeu.

Devido à simplicidade de aplicação e por ser um método amplamente discutido em literaturas afins, o Método Tabular para a determinação do TRRF atualmente é o mais utilizado pelo meio técnico. Esta prática pode ser considerada como antieconômica, tendo em vista que a análise de segurança das estruturas em situação de incêndio se pauta nos valores dos TRRFs e que o Método do Tempo Equivalente conduz a TRRFs significativamente inferiores aos determinados pelo Método Tabular.

Munhoz et al. (2018) desenvolveram um trabalho semelhante ao aqui proposto, no qual foi avaliado a influência das exigências da ABNT NBR 15200 (2012) no custo final da estrutura de um edifício de 40 pavimentos em concreto armado. Para tal avaliação, simularam dois modelos da estrutura, o primeiro considerando apenas as recomendações da ANBT NBR 6118 (2014) e o segundo, aplicando as exigências da ABNT NBR 15200 (2012) em função do TRRF calculado pelo Método Tabular. Os autores identificaram no segundo modelo um incremento de 13,5% de aço e 20,4% de concreto, o que possivelmente pode ser reduzido, se considerado para aplicação das exigências da ABNT NBR 15200 (2012) o TRRF calculado pelo Método do Tempo Equivalente.

Partindo deste pressuposto, a presente pesquisa objetivou evidenciar as vantagens de se determinar o TRRF pelo Método do Tempo Equivalente, realizando as verificações prescritas pela ABNT NBR 15200 (2012) em um edifício residencial multifamiliar de paredes de concreto para dois TRRFs, um determinado pelo Método Tabular e o outro pelo Método do Tempo Equivalente.

Optou-se por trabalhar com este tipo de edificação pela falta de estudos semelhantes em literaturas afins, e tendo em vista a grande quantidade de edifícios que são construídos em um único empreendimento de paredes de concreto, com o fito de diluir o custo relativamente alto das formas necessárias para a execução dos edifícios. Neste cenário, a redução de um centímetro de espessura das paredes pode representar uma redução significativa de consumo de concreto.

Como complemento, também é apresentado um estudo sobre a influência do pé-direito e da área de abertura vertical dos pavimentos na determinação do TRRF do edifício pelo MTE, tendo em vista que ambos os fatores influenciam no resultado final e também por existir certa carência de discussões nesse sentido em literaturas afins.

2 TEMPO REQUERIDO DE RESISTÊNCIA AO FOGO (TRRF)

Segundo a ABNT NBR14432 (2001), TRRF é o tempo mínimo preconizado de resistência ao fogo de um elemento construtivo qualquer, quando submetido a situações de incêndio, com elevação de temperatura semelhante à proposta pela curva padrão da norma internacional ISO 834-1 (1999).

No Brasil, este tempo é padronizado em 30, 60, 90 e 120 min, e pode ser determinado pelo Método Tabular – método em que os TRRFs são determinados por meio de tabelas padronizadas em normas, que foram construídas a partir de um consenso da sociedade pautado nas dimensões e nos tipos de utilização das edificações – e o Método do Tempo Equivalente, que segundo Silva (2008), pode ser considerado um método mais científico, por se pautar em uma equação que leva em consideração diversas informações vinculadas à edificação, como suas características geométricas, as características específicas das cargas de incêndio de cada ambiente, coeficientes de ponderação das ações, dentre outras.

No Método Tabular, o TRRF é definido por meio de tabelas apresentadas pela norma ABNT NBR 14432 (2001) em função do tipo de utilização da edificação e da distância entre o piso do último pavimento habitável e o ponto que se caracteriza como sendo a saída principal da edificação. No Método do Tempo Equivalente, normatizado pela ABNT NBR 15200 (2012), obtém-se o TRRF dos elementos estruturais de concreto pela equação 1, constante em seu Anexo A.

$$t_e = 0,07 \cdot q_{fi,k} \cdot W \cdot \gamma_n \cdot \gamma_s \quad (1)$$

Na Equação 1, t_e é o Tempo Requerido Equivalente de Resistência ao Fogo dos elementos estruturais de concreto armado, $q_{fi,k}$ é o valor característico da carga de incêndio da edificação, determinada em função de seu tipo de utilização, e W é um coeficiente calculado pela equação 2.

$$W = \left(\frac{6}{H}\right)^{0,3} \cdot \left[0,62 + 90 \cdot \left(0,4 - \frac{A_v}{A_f}\right)\right] \quad (2)$$

onde:

H – é altura do compartimento analisado em metros;

A_v – é área de ventilação vertical do compartimento com acesso ao ambiente externo (em metros quadrados);

A_f – é área total de piso do compartimento analisado em metros quadrados.

O coeficiente de ponderação γ_n presente na equação 1, é calculado pela equação 3 e se vincula às medidas de proteções ativas de combate a incêndio existentes na edificação em análise.

$$\gamma_n = \gamma_{n1} \cdot \gamma_{n2} \cdot \gamma_{n3} \quad (3)$$

Os coeficientes γ_{n1} , γ_{n2} e γ_{n3} , constantes na tabela 1, assumem valor igual a 1, quando da inexistência da proteção em questão na edificação.

Tabela 1: Valores de γ_{n1} , γ_{n2} e γ_{n3}

Existência de Chuveiros Automáticos (γ_{n1})	Brigada Contra Incêndio (γ_{n2})	Existência de Detecção Automática (γ_{n3})
0,60	0,90	0,90

Já o coeficiente de ponderação γ_s – calculado pela equação 4 – é definido em função do risco de incêndio e das consequências do colapso da edificação, sendo γ_{s1} determinado pela Equação 5, adotando h como a altura (em metros) entre o piso habitável mais elevado e o ponto que caracteriza a saída principal da edificação, e γ_{s2} definido na tabela 2.

$$\gamma_s = \gamma_{s1} \cdot \gamma_{s2} \quad (4)$$

$$\gamma_{s1} = 1 + \frac{A_f \cdot (h + 3)}{10^5} \quad (5)$$

Tabela 2: Valores de γ_{s2} em função do risco de ativação do incêndio (ABNT NBR 15200 (2012))

γ_{s2}	Risco	Exemplos de Ocupação
0,85	pequeno	Escola, galreia de arte, parque aquático, igreja, museu.
1	normal	Biblioteca, cinema, correio, consultório médico, escritório, farmácia, frigorífico, hotel, livraria, hospital, laboratório fotográfico, indústria de papel, oficina elétrica ou mecânica, residência, restaurante, supermercado, teatro, depósitos (produtos farmacêuticos, bebidas alcoólicas, venda de acessórios de automóveis) e depósitos em geral.
1,2	médio	Montagem de automóveis, hangar, indústria mecânica.
1,5	alto	Laboratório químico, oficina de pintura de automóveis.

3 CÁLCULO DO TRRF PELO MÉTODO TABULAR E PELO MÉTODO DO TEMPO EQUIVALENTE DE UMA EDIFICAÇÃO

Para avaliar a diferença dos resultados dos dois métodos, é apresentada, na sequência, a determinação do TRRF para uma edificação residencial multifamiliar de paredes de concreto com tipologia típica deste tipo de empreendimento e escolhida como referência para os estudos que seguem. Tal edificação é composta por 18 pavimentos tipo, contendo cada um desses 8 unidades habitacionais, totalizando uma área construída aproximada de 7600 m². Cada pavimento tem aproximadamente 420 m², pé direito de 2,6 m, área de ventilação vertical para o ambiente externo de 57 m² (considerando todas as esquadrias da fachada) e aproximadamente 315 metros lineares de parede portantes de concreto. A figura 1 apresenta um detalhamento esquemático da edificação.



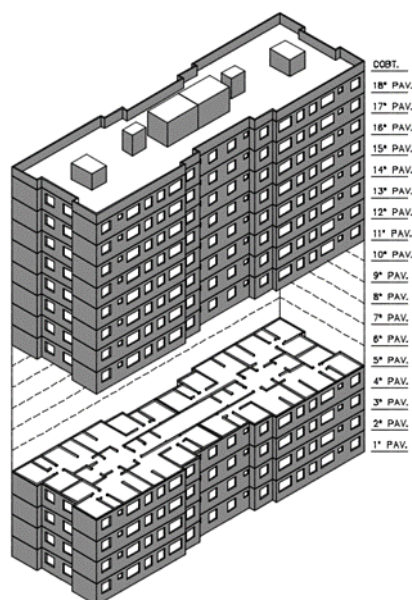


Figura 1: Perspectiva da edificação adotada como referência no estudo (PRÓPRIOS AUTORES (2018))

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com tais características, a edificação se enquadra, segundo os Anexos A e B da ABNT NBR 14432 (2001), na divisão A-2 (edifícios de apartamentos em geral) e na Classe P5 (edifícios com distância do último piso habitável até o ponto caracterizado como saída principal superior a 30 m). Sendo assim, segundo o Método Tabular, o TRRF da edificação em questão é de 120 min. Tendo em vista que o último piso habitável se encontra a uma altura inferior a 45 m, é válida a aplicação da alínea “i” do Anexo A da referida norma, que recomenda a adoção de um TRRF máximo de 90 min para a verificação das lajes.

Para calcular o TRRF pelo Método do Tempo Equivalente, assumiu-se que a edificação se enquadrou em condições de risco de ativação de incêndio normal ($\gamma_{s,2}=1,0$), e que contava apenas com brigada contra incêndio ($\gamma_n=0,9$) como medida de proteção ativa de combate a incêndio, situação comum neste tipo de edificação.

Segundo a ABNT NBR 14432 (2001), a carga de incêndio a ser considerada para edificações residenciais multifamiliares é de 300 MJ/m². A área total de piso do compartimento em análise foi considerada como sendo de 400 m², tendo em vista que a caixa de escada do edifício possui 20 m² e que esta é protegida por portas corta fogo.

Aplicando as Equações de 1 a 5 e as considerações apresentadas anteriormente, chega-se a um TRRF de 29,3 min, o que resulta em uma redução de aproximadamente 75% do valor encontrado pelo Método Tabular. Porém, o Anexo A da norma ABNT NBR 15200 (2012) impõe uma limitação ao uso do Método do Tempo Equivalente, permitindo que se aplique no máximo uma redução de 30 min no valor determinado pelo Método Tabular. Apresenta-se na tabela 3 o resumo dos TRRFs calculados pelos dois métodos.

Tabela 3: TRRFs calculados

Elemento Estrutural	Método Tabular (min)	Método do Tempo Equivalente (min)	Método do Tempo Equivalente com Limitação (min)
Laje	90	29,3	90
Paredes de Concreto	120		90

4.1 Influência da altura do pavimento e da área de abertura vertical no cálculo do TRRF

Tendo em vista que o TRRF calculado pelo Método do Tempo Equivalente sofre influência da altura do pavimento e da quantidade de área de abertura vertical para o meio externo, foi realizado um estudo explorando variações plausíveis nestes dois parâmetros da edificação, com o objetivo de avaliar o efeito destes nos valores finais dos TRRFs.

Assumiu-se para este estudo pés-direitos de 2,6 m, 2,8 m e 3,0 m e áreas verticais para o ambiente externo de 50 m², 57 m² e 63 m² (imaginando variações possíveis de dimensões de esquadrias para este tipo de edificação). Os demais parâmetros necessários para o cálculo foram mantidos os mesmos já utilizados nos cálculos anteriores. O resultado final deste estudo encontra-se apresentado no gráfico da figura 2.

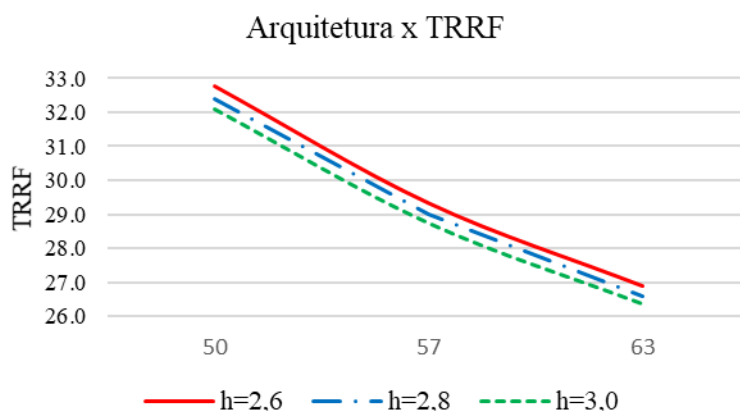


Figura 2: TRRF em função da altura do pavimento e da área de abertura vertical (PRÓPRIOS AUTORES (2018))

Como pode ser observado da figura 2, o aumento de ambos os parâmetros – pé-direito e quantidade de áreas verticais para o ambiente externo – foi favorável à diminuição do TRRF, sendo o maior valor encontrado de 32,8 min e o menor de 26,3 min. Para transformação dos valores extremos de TRRF em temperatura, foi empregado a equação da Curva de Incêndio Padrão (equação 6), considerando temperatura inicial dos gases (θ_0) de 20 °C. Os resultados são respectivamente 855 °C e 822 °C.

$$\theta_g = \theta_0 + 345 \cdot \log(8 \cdot TRRF + 1) \quad (6)$$

Nota-se, que a diferença entre as duas temperaturas limites foi praticamente insignificante, aproximadamente 4%. Porém, quando se leva em consideração a distribuição destas

temperaturas ao longo da seção transversal dos elementos estruturais de concreto, a diferença se torna mais expressiva.

Para exemplificar, apresenta-se na figura 3 a distribuição de temperatura de uma laje maciça de 12 cm de espessura, calculada em função das duas temperaturas extremas (855 °C e 822 °C). Como o fluxo de calor neste tipo de elemento pode ser considerado unidimensional, foi utilizada a Equação 7, sendo y a distância até a face exposta ao fogo e a temperatura neste ponto (ARAÚJO, 2014).

$$\theta_y = \theta_0 + \left\{ [0,73 + 0,048 \cdot \ln(TRRF)] \cdot \theta_g - \theta_0 \right\} \cdot \exp\left(\frac{-0,21 \cdot y}{\sqrt{TRRF}}\right) \quad (7)$$

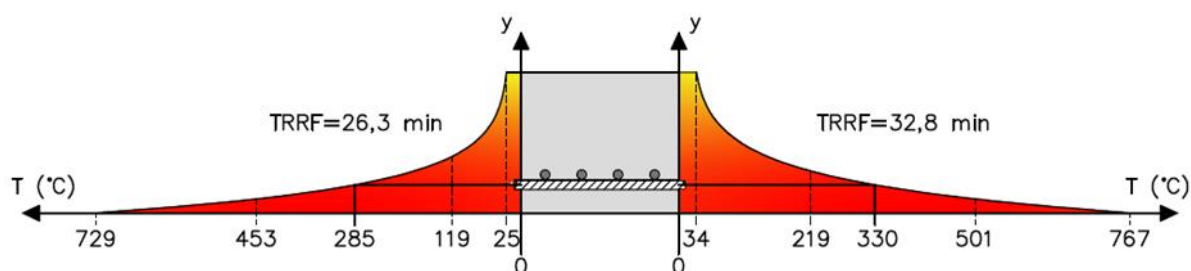


Figura 3: Distribuição de temperatura de laje maciça para TRRF de 26,3 °C e 32,8 °C (PRÓPRIOS AUTORES (2018))

Analisando a figura 3, é possível notar agora diferenças de temperatura mais expressivas entre os dois casos extremos. No nível da primeira camada de armadura, por exemplo, a diferença de temperatura é de aproximadamente 14%. Destaca-se, que devido à distribuição de temperatura ao longo de toda seção transversal do elemento estrutural, nem mesmo sua superfície estaria submetida às temperaturas máximas dos gases determinadas a partir dos TRRFs encontrados.

4.2 Verificação do edifício em função dos TRRFs calculados

Para finalizar, tendo em vista a diferença de TRRF encontrada pelos dois métodos, foi realizado um estudo comparativo das exigências da norma ABNT NBR 15200 (2012) para cada um dos casos, tomando-se ainda como referência o edifício de paredes de concreto considerado inicialmente.

A norma supracitada é a que estabelece as condições mínimas para os projetos de estruturas de concreto armado e protendido em situação de incêndio, e segundo suas recomendações, as verificações dos elementos estruturais podem ser realizadas por qualquer um dos métodos apresentados a seguir:

- Métodos Experimentais, tomando como referência resultados de experimentos laboratoriais;
- Métodos Avançados de Cálculo, que são métodos iterativos, possíveis de serem aplicados apenas com auxílio de ferramentas computacionais validadas e de uso consagrado internacionalmente;
- Métodos Simplificados de Cálculo, métodos analíticos que avaliam a capacidade resistente dos elementos em situação de incêndio, empregando os procedimentos de cálculo

convencionais, porém, considerando a redução das propriedades mecânicas dos materiais em função das temperaturas elevadas;

- Método Tabular, que define por meio de tabelas, em função do TRRF, dimensões mínimas para cada tipo de elemento estrutural e as distâncias mínimas a serem respeitadas do CG das barras de aço deste elemento à sua superfície exposta ao fogo (c_1). Segundo Kodur e Dwaikat (2011) estas especificações são derivadas de ensaios experimentais de resistência ao incêndio padrão realizados com os elementos estruturais.

Objetivando aproximar os resultados da pesquisa à realidade do meio técnico, foi utilizado no estudo que se segue o Método Tabular, por ser este, atualmente o mais empregado nas rotinas de projeto. São verificadas as lajes de concreto maciço e as paredes de concreto portantes do edifício utilizado aqui como referência no estudo.

A norma ABNT NBR15200 (2012) divide suas recomendações para verificação das lajes maciças em duas tabelas, sendo uma para lajes simplesmente apoiadas (Tabela 4) e outra para lajes contínuas (tabela 5). Nas tabelas em questão, h , l_y e l_x representam, respectivamente, a espessura das lajes, sua maior dimensão e sua menor dimensão.

Tabela 4: Dimensões mínimas para lajes simplesmente apoiadas sobre vigas (ABNT NBR15200 (2012))

TRRF (min)	h (mm)	c_1 (mm)		
		Armada em duas direções		Armada numa direção
		$l_y/l_x \leq 1,5$	$1,5 \leq l_y/l_x \leq 2$	
30	60	10	10	10
60	80	10	15	20
90	100	15	20	30
120	120	20	25	40
180	150	30	40	55

Tabela 5: Dimensões mínimas para lajes contínuas sobre vigas (ABNT NBR15200 (2012))

TRRF (min)	h (mm)	c_1 (mm)
30	60	10
60	80	10
90	100	15
120	120	20
180	150	30

Como o TRRF das lajes calculado pelos dois métodos foi de 90 min (tabela 3), as recomendações mínimas de dimensões, independentemente se estas serão consideradas em cálculo como contínuas ou não, são: espessura de 100 mm e c_1 igual a 15 mm.

Para a verificação das paredes de concreto portantes, recorreu-se a uma tabela da norma europeia EN 1992-1-2 (2004), tendo em vista que a norma ABNT NBR15200 (2012) não apresenta tabelas de referência para a verificação deste elemento. A tabela da norma europeia adotada na verificação apresenta grande semelhança com a tabela especificada pela norma brasileira para verificação dos pilares-parede, como pode ser observado no comparativo elaborada na Tabela 6.

Nota-se apenas uma pequena diferença de espessura nas paredes com uma face exposta ao fogo, submetidas a um TRRF de 120 min, com μ_{fi} de 0,35.

Diferentemente das lajes, como observado na Tabela 6, as especificações mínimas das paredes são dependentes do TRRF, da quantidade de faces expostas ao fogo e do coeficiente μ_{fi} calculado pela equação 8, sendo $N_{sd,fi}$ o valor de cálculo da força axial das paredes de concreto portantes em situação de incêndio, calculado considerando a combinação última excepcional de ações, e N_{Rd} o valor de cálculo da força normal resistente das paredes à temperatura ambiente.

$$\mu_{fi} = N_{sd,fi} / N_{Rd} \quad (8)$$

Tabela 6: Dimensões mínimas para pilares-parede e paredes de concreto (Adaptado das normas ABNT NBR15200 (2012) e EN 1992-1-2 (2004))

TRRF (min)	Combinação de b_{min}/c_1 (mm/mm)							
	ABNT NBR 15200 (2012) - Pilar Parede				EN 1992-1-2 (2004) - Parede de Concreto			
	$\mu_{fi} = 0,35$		$\mu_{fi} = 0,70$		$\mu_{fi} = 0,35$		$\mu_{fi} = 0,70$	
	1 face exposta	2 faces expostas	1 face exposta	2 faces expostas	1 face exposta	2 faces expostas	1 face exposta	2 faces expostas
30	100/10	120/10	120/10	120/10	100/10	120/10	120/10	120/10
60	110/10	120/10	130/10	140/10	110/10	120/10	130/10	140/10
90	120/20	140/10	140/25	170/25	120/20	140/10	140/25	170/25
120	140/25	160/25	160/35	220/35	150/25	160/25	160/35	220/35
180	180/40	200/45	210/50	270/55	180/40	200/45	210/50	270/55

Adotou-se para o cálculo de distribuição das cargas verticais da edificação o procedimento de Grupos Isolados de Paredes. Foi considerado como referência para a verificação das paredes o grupo de paredes do primeiro pavimento que apresentou a maior carga uniformizada, sendo essa de 303,21 kN/m ($N_{sd,fi}$).

Assumindo inicialmente que as paredes do primeiro pavimento têm espessura de 14 cm e que foram confeccionadas com concreto de 30 MPa, chega-se, seguindo as prescrições da norma ABNT NBR16055 (2012), a um N_{Rd} de 1000 kN/m. Nestas condições, o valor de μ_{fi} para o grupo mais carregado de paredes é de 0,30. É importante destacar que neste tipo de estrutura é comum a adoção de espessura única de parede para todo o edifício, sendo assim, o coeficiente μ_{fi} das demais paredes (menos carregadas) será sempre inferior ao encontrado para a condição mais crítica de carregamento.

Considerando que as duas faces das paredes estarão expostas ao fogo, e tomando como referência inicialmente o TRRF de 120 min determinado pelo Método Tabular, chega-se, segundo a Tabela 6, a uma espessura mínima de parede (b_{min}) de 160 mm com c_1 de 25 mm. Já para o TRRF calculado pelo Método do Tempo Equivalente – que foi de 90 min – a espessura mínima de parede a ser empregada no edifício é de 140 mm com c_1 de 10 mm.

Ou seja, a adoção do Método do Tempo Equivalente para a determinação do TRRF conduziu a espessuras de paredes menores garantindo uma economia de 12,5% de concreto em toda a

edificação, tendo em vista que estas são as recomendações mínimas a serem consideradas em projeto para garantir a segurança da estrutura em situações de incêndio.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como já esperado, o Método Tabular conduziu a soluções mais conservadoras do que o Método do Tempo Equivalente. Foi possível notar, comparando as soluções encontradas em função dos dois TRRFs, que a adoção do Método do Tempo Equivalente garantiu uma solução com consumo de concreto 12,5% menor que a solução pautada no Método Tabular. Considerando que para viabilizar um empreendimento de parede de concreto é necessária a construção de uma quantidade significativa de edifício, esta redução de consumo de concreto se torna significativa.

No estudo realizado com o intuito de avaliar a influência da altura do pavimento e da quantidade de aberturas verticais no cálculo do TRRF pelo Método do Tempo Equivalente, constatou-se que o aumento de ambos os fatores contribui positivamente para a redução do TRRF, deixando claro que a proteção da estrutura contra incêndio já se inicia na própria concepção arquitetônica. Vale frisar que os resultados encontrados no estudo de caso em questão não conduziram a valores finais menores de TRRFs, devido às limitações impostas pela norma. Contudo, em edificações com tipologias/utilizações diferentes, as reduções possíveis em função da altura do pé-direito ou mesmo da quantidade de aberturas verticais podem ser relevantes.

Destaca-se como principal contribuição da pesquisa, que a adoção do Método do Tempo Equivalente para a determinação do TRRF, conduz a soluções mais econômicas em edifícios semelhantes ao considerado neste estudo, se comparado com a solução encontrada pelo Método Tabular.

6 REFERÊNCIAS

Araújo, J. M. (2014). *Curso de Concreto Armado* (Vol. 2). Rio Grande: Dunas.

ABNT NBR 6118, de 29 de maio de 2014. Projetos de estruturas de concreto: Procedimento. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT NBR 10636, de 30 de março de 1989. Paredes divisórias sem função estrutural: determinação da resistência ao fogo: método de ensaio. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT NBR 14432, de 30 de novembro de 2001. Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT NBR 15200, de 26 de abril de 2012. Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT NBR 16055, de 10 de abril de 2012. Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações – Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.



Bolina, F. L., Prager, G. L., Rodrigues, E., & Tutikian, B. F. (2015) Avaliação da resistência ao fogo de paredes maciças de concreto armado. *Ambiente Construído*, 4(15), p.291-305. Recuperado de

<https://doi.org/10.1590/s1678-86212015000400051>

ECS EN 1992-1-2, de 8 de julho de 2004. Eurocode 2: design of concrete structures – part 1.2: general rules – structural fire design. Brussels: European Committee for Standardization.

ISO 834-1, 30 de setembro de 1999. Fire-resistance tests: elements of building construction: part 1: general requirements. Geneva: International Organization for Standardization.

Kodur, V. K. R., & Dwaikat, M. B. (2011). Design equation for predicting fire resistance of reinforced concrete beams. *Engineering Structures*, 33(2), 602-614. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2010.11.019>

Kodur, V. K. R., Yu., B., & Solhmirzaei, R. (2017). A simplified approach for predicting temperatures in insulated RC members exposed to standard fire. *Fire Safety Journal*, 92, 80-90. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.05.018>

Munhoz, G. S., Agustini, M., Scoz, L. M. O., & Gelatti, F. (2018, setembro). Análise da ABNT NBR 15200:2012 para um edifício de 40 pavimentos em situação de incêndio estrutural. *Anais do Congresso Brasileiro do Concreto*, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 60.

Silva, V. P. (2008). Sobre o coeficiente γ_{s1} do Método do Tempo Equivalente para a determinação do Tempo Requerido de Resistência ao Fogo das estruturas. *Minerva: Pesquisa e Tecnologia*, 3(5), 315-321. Recuperado de [http://www.fipai.org.br/Minerva%2005\(03\)%2011.pdf](http://www.fipai.org.br/Minerva%2005(03)%2011.pdf)

Silva, V. P. (2016). Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio conforme ABNT NBR 15200 (2 ed.). São Paulo: Blucher.

Silva, V. P., Costa, C. N., & Melão, A. R. (2017). Procedure for decreasing the required time for fire resistance of the multistory buildings. *Revista Ibracon de Estruturas e Materiais*, 10(5), 1141-1162. Recuperado de <https://doi.org/10.1590/s1983-41952017000500011>

COMO CITAR ESTE ARTIGO:

Narques, T. V. N., Silva, T. D., Mascarenhas, F. J. R., Canhada, J. C. dos S., Christoforo, A. L., Carvalho, R. C. (2020). Influência de métodos de cálculo do TRRF na verificação de edifícios em situação de incêndio. *Holos*, 37(1), 1-15.

SOBRE OS AUTORES

T. V. N. NARQUES

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade de Uberaba (2013), Especialista em: Estruturas de Concreto e Fundações (INBEC-2018) e Docência do Ensino Superior (UNIUBE-2015). Mestre em Engenharia Civil (UFSCar-2019 - Área de Concentração: Estruturas e Geotecnia - Linha de Pesquisa: Otimização estrutural por meio de Inteligência Artificial). Experiência docente em cursos de Graduação e Pós-Graduação em Engenharia Civil e experiência com projetos de fundações, estruturas de concreto, alvenaria estrutural e paredes de concreto. E-mail: tarnie.projetos@gmail.com



ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3236-6704>

T. D. SILVA

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade de Uberaba (2013) e mestrado em Engenharia Civil, área de concentração Estruturas e Construção Civil, pela Universidade Federal de Uberlândia (2016). Atualmente é doutorando em Estruturas e Construção Civil pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e professor na Universidade de Uberaba (UNIUBE). Áreas de interesse e atuação: arcos, instabilidade estrutural, método dos resíduos ponderados, método dos elementos finitos, estruturas de madeira e aço. E-mail: damasceno.tds@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8115-5973>

F. J. R. MASCARENHAS

Atualmente, é aluno de Doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Mestre em Engenharia de Estruturas (Engenharia Civil) pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), com bolsa de estudos CAPES, em 2019. Engenheiro Civil pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas), em 2016, com bolsa de estudos do PROUNI. Participou de dois períodos sanduíches com Bolsa de Estudos, durante a Graduação. Primeiro, ex-aluno do Programa Ciências sem Fronteiras (CsF), financiado pela CAPES e estudou na University of Toronto, no Canadá, durante 16 meses, entre setembro de 2013 e dezembro de 2014. Segundo, ex-aluno do Emerging Leaders in America Program (ELAP), financiado pelo CBIE e fez pesquisa na Memorial University of Newfoundland, no Canadá, durante 5 meses, entre janeiro e maio de 2016. Ambos os períodos de intercâmbio totalizaram 21 meses (1 ano e 9 meses). Atuou como monitor de 9 (nove) disciplinas durante a Graduação e de 2 (duas) disciplinas durante o Mestrado, bem como participou, no Brasil e no Canadá, de Projetos de Iniciação Científica. Possui 2 capítulos de livro publicados em inglês; 7 artigos, 4 em inglês e 3 em português, em periódicos e 15 artigos publicados em inglês e português em anais de congressos nacionais e internacionais. Além disso, é sócio da SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA (SBPC) desde outubro de 2019. E-mail: fer.jr.resende@hotmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5133-8456>

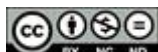
J. C. DOS S. CANHADA

Graduado em Engenharia Civil pela UNOESTE (2017), período sanduíche na Universidad de Santiago de Compostela - Campus Lugo, Espanha (2016). Mestrando no Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais (UNESP FCT, Campus de Presidente Prudente), bolsista CAPES - PROEX. Curso de formação científica PIBIC/CNPq/UNOESTE (2016). Atuou como pesquisador no laboratório de materiais de construção civil da UNOESTE com bolsa tipo PIBIC/CNPq, desenvolvendo atividades de pesquisa na área de materiais de construção civil. Monitor durante dois semestres de Hidráulica I e II. Estágio na área de estruturas, desenvolvendo cálculos de fundações superficiais e profundas. E-mail: jaocanhada@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0675-4693>

A. L. CHRISTOFORO

Possui Pós-Doutorados em Estatística, em Engenharia de Materiais e em Engenharia de Estruturas pela Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho (UNESP), campus de Ilha Solteira e de Rio Claro, Pós-Doutorado em Engenharia de Estruturas pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), da Universidade de São Paulo (USP) e Pós-Doutorado em Engenharia e Ciência de Materiais pela Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos FZEA/USP. Doutor e Mestre em Engenharia de Estruturas pela EESC/USP, Especialista em Matemática Aplicada pela UNESP de Rio Claro e graduado em Engenharia Civil Pela Universidade de Franca (UNIFRAN). É professor Adjunto do Departamento de Engenharia Civil (DECiv) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGECiv) da mesma universidade. É autor-coautor em mais de 400 artigos publicados em periódicos com



política editorial bem definida, em mais de 200 trabalhos completos publicados em anais de eventos nacionais e internacionais, participação em mais de 30 eventos científicos nacionais e internacionais, autor-coautor em mais de 25 livros (Mecânica dos Sólidos, Métodos Numéricos, Madeira, Estruturas de Madeira - Pontes, Painéis a Base de Madeira, Materiais Compósitos a Base de Resíduos Lignocelulósicos), revisor em mais de 30 periódicos, editor da área de Construções Rurais e Ambiente da Revista Engenharia Agrícola (EAgri - SBEA) e membro do corpo editorial da revista Construindo. Coordena projetos de pesquisa em desenvolvimento com empresas (Sindusmad, Greenplac, Kehl polímeros, STWood, Imperveg, Vale do Cedro: Madeiras Termotratadas), é colaborador em vários projetos de pesquisa independentes e financiados por agências de fomento à pesquisa (CNPq, FAPESP), e possui forte colaboração em pesquisa com a Universidade de Coimbra (UC). Homenageado com o seu nome no Centro Acadêmico do curso de Engenharia Civil da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT / Sinop / MT). Foi professor Interino na UNEMAT e posteriormente professor Visitante nessa mesma instituição, ministrando aulas de disciplinas diversas para o curso de Engenharia Civil. Foi concursado na vaga de Álgebra Linear, Cálculo Diferencial e Integral e Geometria Analítica da Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT / Sinop / MT), concursado na área de Resistência dos Materiais no Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ / MG) e concursado na vaga de Mecânica das Estruturas no Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), onde leciona atualmente, orientando alunos de graduação e de pós-graduação (Mestrado e Doutorado - PPGECiv) com supervisões de estágios de pós-doutorados. Organizou vários eventos técnico-científicos, dentre eles o Encontro Regional de Matemática Aplicada e Computacional (ERMAC), patrocinado pela Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional (SBMAC) e o Congresso Nacional de Engenharia Mecânica e Industrial (CONEMI), financiado pela Federação Nacional de Engenharia Mecânica e Industrial (FENEMI). Membro da Comissão de Estudo de Estruturas de Madeiras (ABNT/CE-02:126.10) do Comitê Brasileiro da Construção Civil (ABNT/CB-02): Ensaio de caracterização de peças estruturais de madeira, e membro da diretoria do Instituto Brasileiro da Madeira e das Estruturas de Madeira (IBRAMEM). Atua na modelagem de estruturas de madeira (estruturas mistas; em situação de incêndio) e de materiais compósitos para aplicações diversas, em estruturas de madeira, na caracterização da madeira, na fabricação e na caracterização de produtos engenheirados a base de madeira e de resíduos lignocelulósicos (MLC, PPH, MDP, MDF, OSB, LVL, etc..) e na modelagem estatística. E-mail: christofoal@yahoo.com.br
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4066-080X>

R. C. CARVALHO

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1973), mestrado em Engenharia de Estruturas- SÃO CARLOS pela Universidade de São Paulo (1985) e doutorado em Engenharia de Estruturas São Carlos pela Universidade de São Paulo (1994). Trabalhou nos escritórios Dolfim engenharia, Walter Pfeil e Engenheiros Associados no Rio de Janeiro. Atualmente é professor Senior, aposentado como titular, da Universidade Federal de São Carlos e ligado ao departamento de Engenharia Civil. Além disso, é Coordenador da Especialização em Estruturas de Concreto e Fundações do INBEC UNIP. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Estruturas de Concreto, atuando principalmente nos seguintes temas: concreto armado e protendido, estruturas pré-moldadas, projeto e análise de estruturas, pontes e lajes alveolares protendidas . É co-Autor de dois livros Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado volumes 1 e 2. O primeiro se encontra na quarta edição e o segundo na primeira edição e segunda reimpressão. É autor do livro Estruturas em concreto Protendido que se encontra na segunda edição. Trabalha fortemente no ensino do concreto armado e protendido desenvolvendo junto com seu grupo de pesquisas de ferramentas para o uso nas disciplinas de concreto armado como pode ser visto em www.deciv.ufscar.br/calco. Atualmente é coordenador do curso de pós graduação "Lato Senso" Estruturas de Concreto Armado do INBEC (instituto Brasileiro de Ensino Continuo) e UNIP (Universidade Paulista). Foi professor de Engenharia nas escolas da UFRRJ- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro- da Instituição Moura Lacerda -Ribeirão Preto- Escola de Engenharia de Araraquara, Escola de Engenharia de Passos e Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP



(Universidade de Campinas). E-mail: robertochustcarvalho@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5445-011X>

Editor(a) Responsável: Francinaide de Lima Silva Nascimento

Pareceristas *Ad Hoc*: LUCIANO VARANDA E TIAGO HENDRIGO DE ALMEIDA

