

ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE SISTEMAS PRODUTIVOS INOVADORES DE CONCRETO ARMADO SUBMETIDO À SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Geovani Almeida da Silva (UFPE / UNIFAVIP - DeVry) gsilva7@unifavip.edu.br
Camilla Mirely Evarito da Silva (UNIFAVIP- DeVry) camillamirely10@hotmail.com
Rayanne Expedita Lopes Pereira (UFPE / UNIFAVIP - DeVry) rayanneex@hotmail.com
Romilde Almeida de Oliveira (UNICAP) romildealmeida@gmail.com
Arnaldo Manoel Pereira Carneiro (UFPE) ampc@ufpe.br

Resumo

Com o intuito de atender a realidade exigida pelos setores industriais, na busca por melhorias nos cenários de crise, as novas tecnologias são investimentos para qualificar e diferenciar o mercado na Engenharia de Produção e construção civil, tornando mais atraente para investimento. Para desenvolvimento desses métodos inovadores faz-se necessário o uso dos parâmetros mencionados na norma de desempenho, NBR 15575/2013, aplicada a engenharia civil para construção convencional e pré-fabricadas, haja vista que, esta normativa faz a sistematização necessária solicitada por órgãos competentes afim de garantir desempenho mínimo. Sendo assim, este trabalho abordará o desempenho de paredes alveolares empregado na construção residencial e comercial, para isso, os estudos desenvolvidos, para uma situação de incêndio com os componentes estruturais de paredes e laje alveolares, foram feitos tomando por base uma edificação residencial. Com base nos resultados, percebe-se que o método construtivo de parede alveolar obteve, desempenho satisfatório quanto ao Tempo Requerido de Resistência ao Fogo - TRRF, mostrando-se bastante favorável como alternativas ao se mostrar como estrutura durável em situação de incêndio.

Palavras-Chave: Produção. TRRF. NBR 15575/13.

1. Introdução

Tendo a Engenharia de Produção a competência de viabilizar a produção de projetos, a implantação, a operação, a melhoria e a manutenção de sistemas produtivos integrados de bens e serviços, envolvendo homens, materiais e tecnologias torna-se um desafio principalmente nos cenários de crise. Com isso, a Engenharia de Produção traz grande valia no segmento da Engenharia Civil, para construções de casas no sistema convencional e/ou pré-fabricadas. A multidisciplinaridade de conhecimentos entre as engenharias, em prol da busca por melhorias neste cenário de crise, aposta na inovação dos processos de produção e vem sendo primordial para o enfrentamento das dificuldades atuais.

Em virtude dos processos inovadores para novas construção, dentro da Engenharia Civil, verifica-se que a norma de desempenho se torna uma ferramenta para os objetivos almejados

pelo setor da construção civil. Uma vez traçado os objetivos, como: Redução de custos, otimização da produtividade, favorecimento de clientes e incentivo dos sistemas inovadores, o aperfeiçoamento dos sistemas construtivos constrói um avanço para vários setores, e cria um caminho para a evolução de todos campos das engenharias que compõem a cadeia de construção civil.

As novas tecnologias, são investimentos para qualificar e diferenciar o mercado na construção civil, tornando mais atraente para investimento. Com o intuito de atender a realidade exigida pelos setores industriais, a norma NBR 15575:2013 (Edificações habitacionais – Desempenho), introduz uma série de ajustes para determinar requisitos de durabilidade e desempenho de estruturas, e afeta todo o setor de construção civil, como: fornecedores de materiais, construtores, laboratórios de materiais, profissionais de projetistas e usuários. Sendo assim, o trabalho abordará o desempenho de paredes alveolares para construções, estabelecendo requisitos para o sistema estrutural com base na norma de desempenho, abordando parâmetros de segurança contra incêndio conforme (NBR 15200:2012).

2. Fundamentação teórica

2.1. Incêndio real

Normalmente ao se inicia um incêndio localizado e seu crescimento vai estar diretamente ligado ao item ignizado, das características do comportamento ao fogo dos materiais nas proximidades do item ignizado e sua distribuição no ambiente (SEITO et al.,2008). Segundo Costa (2008) o incêndio real é representado em um gráfico no qual contem uma curva de parâmetros de temperatura-tempo, tendo como ênfase lado ascendente e outro descendente, no qual o primeiro é caracterizado pela elevação de temperatura, e o segundo pelo estagio de resfriamento.

2.2. Incêndio padrão

O incêndio padrão é um modelo no qual no qual para fins de análises experimentais é utilizado de maneira idealizada, onde tem como fundamento a utilização da temperatura dos gases quentes no ambiente de compartimentação, de modo que obedeça às curvas padronizadas, em casos principalmente no qual se tem a ausência de dados realísticos, as curvas padronizadas são fundamentadas em função da temperatura da atmosfera do ambiente compartimentado. Tendo em vista que as características do local não vai ter influencia, mesmo com a mudança no cenário não vai ocorrer variação, no entanto esse método é utilizado

para facilitar os ensaios que são realizados em serie de elementos construtivos para avaliar a sua resistência ao fogo (COSTA & SILVA,2006).

2.3. ISO 834 (1975) – Fire Resistance Tests – Elements of Building Construction

A International Organization for Standards - ISO, em meados de 1961, organizou um comitê no qual tinha como foco a preparação de um resumo com especificações para ensaios de resistência ao fogo (LWF, 2000apud COSTA, 2008); Na tentativa de uma uniformização das curvas americana ASTM E119 (1918) e britânica BS 476 (1932), junto com os diversos estudo deram origem ao texto ISO R834 para discussão, no qual seria a primeira versão do projeto de uma norma, no qual se propôs uma curva temperatura-tempo. Em 1975, a norma ISO 834 “Fire-ResistanceTests – Elementsof Building Construction”, no qual, foi desenvolvido a equação (1) para uma estimativa temperatura em função do tempo do incêndio-padrão em materiais celulósicos (COSTA, 2008).

$$\theta_g - \theta_{go} = 345 \cdot \log(8 \cdot t + 1) \quad (1)$$

Onde:

- θ_g : temperatura dos gases quentes (atmosfera do compartimentarção em chamas (°C));
- θ_{go} : temperatura da atmosfera do compartimento no instante $t = 0$ (°C).
- t : tempo (min).

2.4. Condutividade térmica

Segundo ABNT NBR 15200:2012 a condutividade térmica do concreto com densidade normal com agregados silicoso, pode ser determinado pela equação (2), em watts por metro e por grau Celsius (W/m°C), que é determinada para a variação da temperatura entre $20^\circ\text{C} \leq \theta_c \leq 1200^\circ\text{C}$.

$$\lambda = 1,36 - 0,136 \frac{\theta_c}{100} + 0,0057 \left(\frac{\theta_c}{100} \right)^2 \quad (2)$$

Onde:

- θ_c : é a temperatura do concreto, em graus Celsius.
- De uma maneira simplificada podemos utilizar podemos utilizar a relação entre a condutividade térmica do concreto e a temperatura pode ser considerada constante, vai ser utilizado 1,3 W/m°C.

3. Metodologia

3.1. Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF)

Os critérios estabelecidos na norma, tem como base a resistência dos elementos construtivos quando expostos em situação de incêndio-padrão, e foram desenvolvidos de acordo com a engenharia de segurança contra incêndio e simplicidade na sua aplicação (NBR 14432:2001).

O tempo requerido de resistência ao fogo - TRRF é o tempo mínimo de resistência ao fogo que os elementos construtivos resistem quando sujeitos ao incêndio-padrão (NBR 15200:2012). O TRRF é determinado conforme a quadro 1 mostrada a seguir, obedecendo a classificação do tipo de ocupação de acordo com a tabela do Anexo 1 (NBR 14432:2001).

Quadro 1 - Tempos requeridos de resistência ao fogo - TRRF, em minutos

Grupo	Ocupação/uso	Divisão	Profundidade do subsolo		Altura da edificação				
			Classe S ₂ h _s > 10 m	Classe S ₁ h _s ≤ 10 m	Classe P ₁ h ≤ 6 m	Classe P ₂ 6 m < h ≤ 12 m	Classe P ₃ 12 m < h ≤ 23 m	Classe P ₄ 23 m < h ≤ 30 m	Classe P ₅ h > 30 m
A	Residencial	A-1 a A-3	90	60 (30)	30	30	60	90	120
B	Serviços de hospedagem	B-1 e B-2	90	60	30	60 (30)	60	90	120
C	Comercial varejista	C-1 a C-3	90	60	60 (30)	60 (30)	60	90	120
D	Serviços profissionais, pessoais e técnicos	D-1 a D-3	90	60 (30)	30	60 (30)	60	90	120
E	Educacional e cultura física	E-1 a E-6	90	60 (30)	30	30	60	90	120
F	Locais de reunião de público	F-1, F-2, F-5, F-6 e F-8	90	60	60 (30)	60	60	90	120
G	Serviços automotivos	G-1 e G-2 não abertos lateralmente e G-3 a G-5	90	60 (30)	30	60 (30)	60	90	120
		G-1 e G-2 abertos lateralmente	90	60 (30)	30	30	30	30	60
H	Serviços de saúde e institucionais	H-1 a H-5	90	60	30	60	60	90	120
I	Industrial	I-1	90	60 (30)	30	30	60	90	120
		I-2	120	90	60 (30)	60 (30)	90 (60)	120 (90)	120
J	Depósitos	J-1	90	60 (30)	30	30	30	30	60
		J-2	120	90	60	60	90 (60)	120 (90)	120

tabeladas, a norma permite que seja feita uma interpolação linear.

3.3. Análise do método tabular para pilares

No quadro 2 mostra as dimensões mínimas b_{min} dos pilares e seu valor do cobrimento c_1 , é necessário também determinar μ_{fi} , no qual sua determinação é realizada conforme a equação (3), obtendo a opção de análise do pilares-parede com uma ou duas faces exposta ao fogo.

$$\mu_{fi} = \frac{N_{Sd,fi}}{N_{Rd}} \quad (3)$$

Onde :

- $N_{Sd,fi}$: é o valor de cálculo da força axial em situação de incêndio;
- N_{Rd} : é o valor de cálculo da força normal resistente do pilar calculado de acordo com a NBR 6118:2012 com γ_m à temperatura ambiente, incluindo os efeitos da não linearidade geométrica (2º ordem) e desconsiderando os efeitos das forças decorrentes do vento.

3.4. Método simplificado de cálculo

Para o método simplificado de cálculo algumas hipóteses básicas são determinadas, tais como a determinação das solicitações de incêndio admitindo para seu cálculo um valor equivalente a 70 % das solicitações de cálculo em temperatura ambiente, já o esforço resistente pode ser determinado com base na distribuição da temperatura da seção transversal, considerando a sua exposição ao fogo de acordo com TRRF, essa distribuição pode ser obtida na literatura técnica ou em programas especializados, a partir do fluxo de calor, que é encontrado de acordo com a equação (4) (NBR 15200:2012).

$$\varphi = \varphi_c + \varphi_r \quad (4)$$

Para:

- $\varphi_c = \alpha_c (\Theta_g - \Theta_a)$
- $\varphi_r = 5,67 \times 10^{-8} \epsilon_{res} [(\theta_g + 273)^4 - (\theta_a + 273)^4]$

Onde

- φ_c : é o componente de fluxo de calor devido à convecção, expresso em watts por metro quadrado (W/m²);
- φ_r : é o componente do fluxo de calor devido à radiação, expresso em watts por metro quadrado (W/m²);
- α_c : é o coeficiente de transferência de calor por convecção, podendo ser tomado. Para efeitos práticos, igual a 25 W/m² °C, no caso de exposição ao incêndio-padrão;
- θ_g : é a temperatura dos gases, expresso em graus Celsius (°C);
- θ_a : é a temperatura na superfície do aço, expresso em graus Celsius (°C);
- ϵ_{res} : é a emissividade resultante, podendo ser considerada para cálculo, igual a 0,7.

Outra hipótese considerada no método simplificado de cálculo, é para os esforços resistentes, que podem ser calculados de acordo com a NBR 6118:2014 considerando uma resistência média em situação de incêndio para o concreto e aço, pode ser utilizada uma redução da seção das estruturas de concreto em situação de incêndio, com a finalidade de simular a redução da resistência (NBR 15200:2012).

Quadro 2 - Dimensões mínimas para pilares-parede

TRRF min	Combinações de b_{min}/c_1 mm/mm			
	$\mu_{fi} = 0,35$		$\mu_{fi} = 0,7$	
	Uma face exposta	Duas faces expostas	Uma face exposta	Duas faces expostas
	1	2	3	4
30	100/10	120/10	120/10	120/10
60	110/10	120/10	130/10	140/10
90	120/20	140/10	140/25	170/25
120	140/25	160/25	160/35	220/35
180	180/40	200/45	210/50	270/55

^a Pilar-parede conforme ABNT NBR 6118.

Fonte: NBR 15200:2012

Devido à boa condutividade térmica que o aço apresenta quando comparado ao concreto, quando o aço é aquecido a temperatura se uniformiza rapidamente, gerando uma dilatação maior que no concreto, essa dilatação faz com que as barras sofram flambagem e compressão na zona de aderência aço-concreto gerando a perda de aderência e ancoragem, essa perda total da aderência ocorre a partir dos 600°C (COSTA; SILVA, 2002).

4. Análise dos Resultados

4.1. Descrição do projeto

O projeto analisado trata-se de uma construção térrea, desenvolvido com sistema construtivo de paredes alveolares, esses elementos pré-moldados, são utilizados como peças estruturais, ou seja, são paredes de concreto com furos circulares na posição vertical e com armadura principal em uma das faces conforme se observa na figura 2. A outra face da parede é composta por uma taxa de armadura mínima determinado por norma.

Haja vista que, certos tipos de edificações, os esforços aplicados a estrutura são muito baixo, os vazios nas paredes apresentam uma grande vantagem na redução de custos do principal material constituinte desse elemento, que é o concreto. Sendo assim, a redução de concreto pode chegar na ordem de 40%, contudo, atendendo aos requisitos de estabilidade da edificação a um esforço previamente dimensionado.

Segundo a NBR 15575:2013, diz que as paredes estruturais devem apresentar um tempo mínimo de 30 minutos de resistência ao fogo, no qual vai garantir as condições de isolamento térmico, estabilidade, e estanqueidade, para edificações habitacionais de até 5 pavimentos,

principalmente para unidades habitacionais unifamiliar isoladas, cuja paredes de cozinhas e ambientes que possuam equipamentos de gás o TRRF seja de 30 minutos para uma parede alveolar.

Para uma situação de incêndio com os componentes estruturais de paredes e laje alveolares, foram feitos tomando por base uma edificação residencial de 65 metros quadrados, composta por: sala, dois quartos, sendo um suíte, cozinha, wc social, área de serviço e varanda com as características dos materiais conforme, NBR 6118:2014, mostrado a seguir.

a) Concreto

- $f_{ck} \geq 25$ MPa
- Fator A/C ≤ 60
- $E_{cs} = 24$ GPa

b) Aço

- CA -60 - $f_{yk} = 600$ MPa
- $E_s = 210$ GPa
- $c = 22.1$ mm
- $\emptyset 4.2$ mm

4.2. Análise do TRRF segundo NBR 14432:2001

A priori, a NBR 14432:2001, estabelece algumas restrições quanto a necessidade de estudos ou comprovação do tempo requerido de resistência ao fogo mínimo. Inicialmente dispensa análise para edificações de classe P1 e P2, no qual, apresente área menor ou igual a 750m².

Como a residência em estudo tem área de 65 m², automaticamente não seriam necessários estudos do TRRF. Porém, para analisar a eficiência dos elementos estruturais constituídos por paredes e lajes alveolares. Contudo, como objetivo da pesquisa é abrir possibilidades de construção para diversos tipos de edificações, residencial e comercial, com área superior a 750m² e com o método inovador a continuação dos estudos se faz necessário.

O primeiro passo para análise do TRRF, será classificar o tipo de construção conforme critérios da NBR 14432:2001 e apresentado no quadro 3.

Quadro 3 - Classificação das Edificações quanto a sua ocupação

Grupo	Ocupação/uso	Divisão	Descrição	Exemplos
A	Residencial	A-1	Habitações unifamiliares	Casas térreas ou assobradadas, isoladas ou não
		A-2	Habitações multifamiliares	Edifícios de apartamento em geral
		A-3	Habitações coletivas	Pensionatos, internatos, mosteiros, conventos, residenciais geriátricos
B	Serviços de hospedagem	B-1	Hotéis e assemelhados	Hotéis, motéis, pensões, hospedarias, albergues, casas de cômodos
		B-2	Hotéis residenciais	Hotéis e assemelhados com cozinha própria nos apartamentos (incluem-se apart-hotéis, hotéis residenciais)

Fonte: ABNT NBR 14432:2001

Nesse trabalho por se tratar de uma ocupação residencial de habitação unifamiliares terá a classificação A-1, conforme quadro 3. O quadro 1, mostrado anteriormente, determina o TRRF em função da classificação da estrutura e em função da altura da edificação, como a altura da edificação, em estudo, e inferior a 6 m, então sua classificação será P1 e consequentemente o TRRF será de 30 minutos conforme a quadro 1.

4.3. Análise pelo método tabular segundo critérios da NBR 15200:2012

Segundo Costa, 2008 as paredes alveolares, são paredes estruturais e são consideradas pilares-parede, sendo assim, para análise das paredes alveolares pelo método tabular é necessário utilizar parâmetros referente a pilar-parede.

Para painéis pré-moldados, no qual apresentem função estrutural, como paredes alveolares utilizadas para compartimentação são consideradas como elementos estruturais e que para o seu dimensionamento será utilizada a ABNT NBR 15200:2012 por se tratar de estruturas em concreto (NPT 008, 2011).

Para análise de pelo método tabular nenhuma verificação é realmente necessária, atendendo a penas as dimensões mínimas apresentada no quadro 2. Algumas considerações vão ser feitas para a determinação do μ_{fi} que é a relação entre os esforços solicitantes de cálculo em situação de incêndio (S_{df}) e os esforços resistentes de cálculo em situação normal (R_d) conforme a equação (3).

A NBR 6118:2014 item 12.5.2 relata que para as condições analíticas em temperatura ambiente $R_d \geq S_d$, ou seja, as resistentes não podem ser menos que as solicitantes então, para análise considerando a pior situação vai utilizar $R_d = S_d$, desta maneira, a resistente é igual a solicitante. Segundo a NBR 15200:2012 item 8.1, na ausência da solicitação que é gerada pela deformação imposta em situação de incêndio, as solicitações de calculo em situação de incêndio pode ser calculada, a partir da solicitante em temperatura ambiente, considerando S_{df}

= 0,70 S_d , daí conclui-se que $\mu_{fi}=0,70$ considerando a pior situação para análise na estrutura, conforme mostrado a baixo.

$$- \mu_{fi} = \frac{S_{d,fi}}{R_d} = \frac{0,70 S_d}{S_d} = 0,7$$

Nos pilares-parede do projeto em análise, temos a base $b_{min}= 127$ mm e cobrimento $c = 22,1$ mm. Para análise no quadro 2 referente as dimensões mínimas para pilares-parede pelo método tabular é considerando apenas uma face exposta com o TRRF de 30 minutos, onde se verifica que as dimensões da parede alveolar atende de maneira satisfatória o mínimo estipulado no quadro 2, que é a base $b_{min}= 120$ mm e cobrimento $c = 10$ mm.

Ao observa que o $b_{min}= 127$ mm é um valor intermediário entre 120mm e 130mm, sendo necessário a realização de uma interpolação linear para determinar TRRF correspondente, de acordo Pilling, [S. D.] essa interpolação linear é realizada de acordo com a equação (5).

$$P_1(x) = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} \cdot (x - x_0) \quad (5)$$

De acordo com a equação (5) e com os valores obtidos no quadro 2, observa-se que a variável referente à “x”, é relacionada b_{min} e a variável referente à “y”, é relacionada ao TRRF, dessa forma obtém-se os seguintes valores:

- $x_0= 120$ mm
- $y_0= 30$ minutos
- $x_1 = 130$ mm
- $y_1 = 60$ minutos
- $x = 127$ mm

Substituindo:

$$P_1(x) = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} \cdot (x - x_0) = P_1(127) = 30 + \frac{60-30}{130-120} \cdot (127 - 120) = 51 \text{ minutos}$$

Como o Tempo Requerido de Resistencia ao Fogo - TRRF foi igual há 51 minutos, referente à uma base de 127 mm e um cobrimento de 10 mm, valor mais próximo das dimensões reais da peça, ou seja, a armadura estaria exposta a uma temperatura mais alta do que a do projeto que tem um cobrimento de 22,1 mm. Sendo assim, os elementos de paredes alveolares conseguem resistir a uma situação de incêndio com tempo igual a 51 minutos, concluindo que está acima do limite mínimo, que é de 30 minuto.

4.4. Curva padronizada segundo norma ISO 834 (1975)

A partir do Tempo Requerido de Resistência ao fogo é possível determinar a temperatura a temperatura dos gases quentes presentes no compartimento em chamas do ambiente onde esta ocorrendo o sinistro, obedecendo ao crescimento da temperatura a uma curva padronizada, essa temperatura vai ser encontrado utilizada a equação (1), conforme mostrado a baixo.

TRRF - 30

$$- \theta_g = 345 \cdot \log(8 \cdot t + 1) + 20 = 345 \cdot \log(8 \cdot 30 + 1) + 20 = 841,80^\circ\text{C}$$

TRRF - 51

$$- \theta_g = 345 \cdot \log(8 \cdot t + 1) + 20 = 345 \cdot \log(8 \cdot 51 + 1) + 20 = 921,04^\circ\text{C}$$

4.5. Fluxo de calor de acordo com o Método Simplificado da ABNT NBR 15200:2012

Segundo Oliveira, 2013 tendo em vista que a condutividade térmica diminui com o aumento da temperatura, para análise na pior situação é utilizado à condutividade térmica em temperatura ambiente, $\lambda=1,33 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ de maneira constante com o aumento da temperatura, obtendo uma variação da temperatura em um menor intervalo de tempo, que conseqüentemente terá uma maior velocidade da redução da resistência.

Ainda Oliveira, 2013 considerando que no processo não haverá perda de energia, então todo o fluxo de convecção e radiação gerado na situação de incêndio será absorvido pela peça estrutural, com tal simplificação é possível obter a equação (6), no qual possibilita a determinação da espessura necessária para a mudança de temperatura.

$$\Delta_x = \lambda \frac{\Delta_\theta}{\varphi} \quad (6)$$

Onde:

- Δ_x = é a espessura necessária para variar a temperatura em Δ_θ (m);
- Δ_θ = variação da temperatura ($^\circ\text{C}$).

4.6. Linhas de temperatura conformes TRRF determinados de 30 minutos e 51 minutos

Pela equação (2), para a temperatura de $921,04 \text{ }^\circ\text{C}$ a condutividade térmica será $\lambda= 0,593 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ e para a temperatura de $841,80 \text{ }^\circ\text{C}$ a $\lambda= 0,619 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, porém, para análise na pior situação utiliza-se à condutividade térmica em temperatura ambiente, pois garantirá a maior variação de temperatura em um menor intervalo de tempo.

Para determinar o fluxo de calor com temperatura dos gases e temperatura na superfície da armadura, tais valores são obtidos na equação 4, juntamente com a condutividade térmica de $\lambda= 1,33 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, determinando a espessura necessária para a mudança de temperatura

utilizada à equação (6), os resultados são mostrados na tabela 1, para o TRRF de 30 minutos com temperatura de 841,80 °C

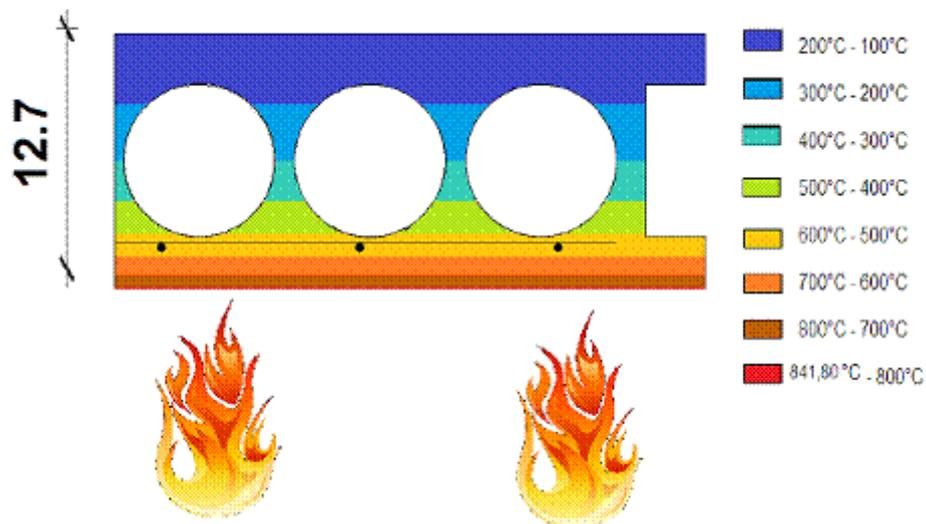
Tabela 1 - valores das espessuras necessárias para a mudança de temperatura ate 841,80°C

θ_g (°C)	θ_a (°C)	Δx (cm)
100	20	4,31
200	100	3,58
300	200	2,78
400	300	2,09
500	400	1,56
600	500	1,17
700	600	0,887
800	700	0,682
841,8	800	0,0058

Fonte: Autor

A figura 2 e 3 corresponde a representação gráfica dos valores mostrados da tabela 1 e 2 respectivamente, onde cada cor representa a espessura necessária para a mudança temperatura. A ilustração do fogo indica o lado da incidência das chamas no ambiente em situação de incêndio, haja vista que, a análise foi realizada para apenas uma das faces exposta ao fogo.

Figura 2 - Linhas de temperatura, quando a temperatura atinge 841,80 °C



Fonte: Autor

A tabela 2 mostra os valores encontrados da espessura necessária para mudança de temperatura conforme determinado na tabela, referente a TRRF de 51 minutos a temperatura dos gases no ambiente é de 921,04°C.

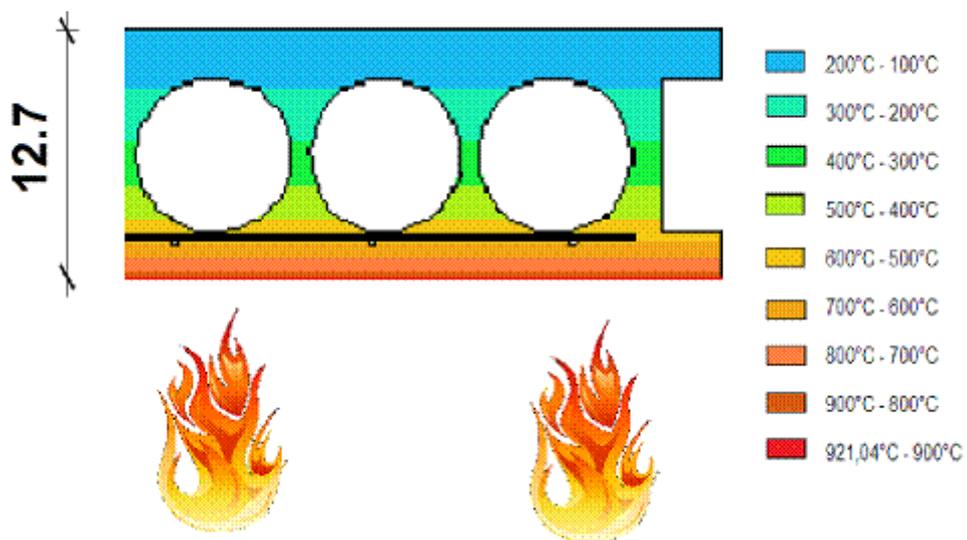
Tabela 2 - valores das espessuras necessárias para a mudança de temperatura ate 921,04°C

θ_g (°C)	θ_a (°C)	Δx (cm)
100	20	4,31
200	100	3,58
300	200	2,78
400	300	2,09
500	400	1,56
600	500	1,17
700	600	0,887
800	700	0,682
900	800	0,533
921,04	900	0,022

Fonte: Autor

Com os valores da tabela 2 é possível mostrar as linhas de temperatura na parede alveolar quando temperatura do gás atingir os 921,04 °C como mostra a figura 3, onde cada cor é referência à espessura necessária para a mudança de temperatura.

Figura 3 - Linhas de temperatura, quando a temperatura dos gases atingirem 921,04 °C



Fonte: Autor

Com a representação gráfica do fluxo de calor mostrado na figura 4 e 5, observa-se a variação térmica ao longo da estrutura de concreto alveolar. Ao analisar o cobrimento de 2,21 cm observa-se que a armadura está sob uma temperatura entre 600°C e 500°C.

Tanto para o TRRF de 30 minutos com a temperatura 841,80°C e para TRRF de 51 minutos com a temperatura de 921,04°C, em ambas das situações, a temperatura da armadura estará no mesmo intervalo de temperatura, ou seja, passando da temperatura de 600°C para a de 500°C.

5. Considerações finais

Com base nos resultados, percebe-se que o método construtivo de parede alveolar obteve, desempenho satisfatório quanto ao TRRF, superando os 30 minutos, chegando até os 51 minutos.

Analisando os requisitos da NBR 14432:2000 e NBR 15200:2012, o desempenho das paredes alveolares apresentou dimensões superiores ao mínimo estipulado, onde foi verificado que para abas as normas a parede passou de maneira satisfatória no tempo mínimo requerido de 30 minutos.

Com os TRRF de 30 minutos e 51 minutos, foi possível obter a temperatura dos gases quentes no ambiente, a partir da norma ISO 834 (1975), obtendo as temperaturas de 841,80°C para o TRRF de 30 minutos e 921,04°C para TRRF de 51 minutos.

Como a temperatura da armadura tanto para o TRRF de 30 minutos como para TRRF de 51 minutos apresentou um valor menor que 600°C, então a armadura da parede não sofrerá uma perda total da aderência.

Outra característica relevante do aço em altas temperaturas é em relação à temperatura de fusão que é de 1550°C (COSTA; SILVA, 2002). Como no trabalho a temperatura máxima atingida foi de 921,04, então a peça de aço não sofrerá fusão.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575** : Edificações habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

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

_____. **NBR 5628**: Componentes construtivos estruturais-Determinação da resistência ao fogo. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR15200**: Projeto de estrutura de concreto em situação de incêndio-procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto- Procedimento, Rio de Janeiro, 2014.

- COSTA, C. N. **Dimensionamento de elementos de concreto armado em situação de incêndio**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2008.
- COSTA, C. N.; SILVA, V. P. **Dimensionamento de estruturas de concreto armado em situação de incêndio**. Métodos tabulares apresentados em normas internacionais. V Simpósio Epusp sobre estruturas de concreto. 2003.
- COSTA, C. N.; SILVA, V. P. **Estrutura de concreto armado em situação de incêndio**. XXX Jornada Sul-Americana de Engenharia Estrutural. 2002.
- INTRUÇÃO TÉCNICA Nº 09/2004. **Compartimentação Horizontal e Compartimentação Vertical**. Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo.
- NORMA DE PROCEDIMENTO TÉCNICO. **NPT 014**: Carga de incêndio nas edificações e áreas de risco. Paraná, 2012.
- NORMA DE PROCEDIMENTO TÉCNICO. **NPT 008**: Resistencia ao fogo dos elementos de construção. Paraná, 2012.
- OLIVEIRA, I. A. **Estrutura de concreto armado em situação de incêndio. Uma análise térmica de uma viga sob flexão simples**. Monografia – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2013.
- PEREIRA, M. A. L. [S. D.]. **Noções básicas de pericia de incêndio**. Disponível em: < http://pt.slideshare.net/carlos_tomas/pericia-de-incendio>. Acesso em: 07/09/2015.
- PILLING, Sergio. [S. D.]. **Cálculo Numérico**. Disponível em: <http://www1.univap.br/spilling/CN/CN_Capt4.pdf>. Acesso em: 21/10/2015.
- PANNONI, F. D. [S. D.]. **Proteção de estruturas metálicas frente ao fogo**. Disponível em: < <https://www.gerdau.com.br/arquivos-tecnicos/20.brasil.es-ES.force.axd>>. Acesso em: 02/11/2015.
- REINA, A. G. R. **Dimensionamento de elementos de concreto à flexão simples em situação de incêndio**. Monografia – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2010.
- SEITO, A. I. et al. **A segurança conta incêndio no Brasil**. São Paulo, PROJETO EDITORA, 2008.