

## **DIMENSIONAMENTO DE LAJES DE CONCRETO ARMADO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO CONFORME MÉTODO TABULAR E PRINCÍPIO DE CÁLCULO DAS ZONAS**

DIOGO RANIERE RAMOS E SILVA<sup>1\*</sup>, ALEXANDRE NEPOMUCENO DA FONSECA MENESES<sup>2</sup>; MARIA DE LOURDES TEIXEIRA MOREIRA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Graduando em engenharia civil, UFPI, diogorramos2@gmail.com;

<sup>2</sup>Graduando em engenharia civil, UFPI, alexmeneses.pi@hotmail.com;

<sup>3</sup>Dr. em engenharia de estruturas, Prof. Associada, UFPI, mmoreira@ufpi.edu.br

**RESUMO:** Este trabalho objetivou comparar a verificação a incêndio realizada segundo o método tabular da NBR 15200: 2012 e de acordo com o método simplificado das zonas especificado no EUROCODE 2, part 1-2, bem como analisar os efeitos das altas temperaturas no momento resistente do concreto. Na metodologia foi utilizado como ferramenta de dimensionamento à temperatura ambiente o software Eberick, versão V8, para a verificação ao incêndio, segundo o método tabular, foram utilizadas tabelas da ABNT NBR 15200 e para o método de HERTZ (método das zonas) foi seguido o procedimento de cálculo previsto em normas Europeias, EUROCODE 2 parte 1-2. Os resultados demonstram convergência dos métodos considerando apenas os momentos resistentes de lajes, mas demonstraram que especial cuidado deve ser tomado para corrigir possíveis situações de ruptura frágil em lajes sujeitas a momentos negativos.

**PALAVRAS-CHAVE:** resistência ao fogo, método tabular, método das zonas.

### **STRUCTURAL FIRE RESISTANCE DESIGN OF CONCRETE ACCORDING TO TABULATED AND ZONE METHODS**

**ABSTRACT:** This article aimed to compare concrete design in fire according to zone method explained in the EUROCODE 2 part 1-2 and tabulated data provided by ABNT NBR 15200: 2012, also it analyzed temperature effects in resistant bending moment values. It was used the software Eberick V8 as a tool for design concrete under normal conditions, for structural fire resistance design was used tabulated data provided by NBR 15200:2012, also for concrete fire design according to zone method was used EUROCODE 2 part 1-2 instructions. It was obtained similar results for slab resistant moment, however especial attention should be directed to avoid risk of fragile fatigue.

**KEYWORDS:** Fire resistance, tabulated method, zone method.

### **INTRODUÇÃO**

O processo de criação de medidas de segurança contra incêndio deve-se à ocorrência de grandes catástrofes que levaram à perda de vidas e de bens. Atualmente os grandes incêndios estão mais restritos às grandes edificações, podendo ser citados os incêndios do teatro Iroquois em Chicago, edifício Joelma em São Paulo, entre outros. Estes incidentes incentivaram pesquisas nesta área e hoje se tem um vasto conhecimento sobre precauções a serem tomadas a respeito de prevenção de incêndios. Vale ressaltar que embora já se tenha uma boa compreensão a respeito do assunto, este ainda é um campo a ser explorado e existe muito ainda a ser aprendido (SILVA. 2012).

O conhecimento adquirido pelas análises de incêndios passados e realização de novas pesquisas está refletido na criação de códigos de segurança contra incêndios que objetivam assegurar a redução da perda de bens e ao risco à vida. Esses códigos de segurança visam a definição de sistemas de prevenção de incêndios que são baseados na definição de proteção ativa e passiva. Segundo a ABNT NBR 14432:2001 a proteção ativa é definida como: “Tipo de proteção contra incêndio que é ativada manual ou automaticamente em resposta aos estímulos provocados pelo fogo, composta basicamente das instalações prediais de proteção contra incêndio” e de acordo com a mesma NBR proteção passiva é: “Conjunto de medidas incorporado ao sistema construtivo do edifício [...] que reage passivamente ao desenvolvimento do incêndio, não estabelecendo condições propícias

ao seu crescimento e propagação, garantindo a resistência ao fogo, facilitando a fuga dos usuários [...]” (ABNT NBR 14432, 2001. p. 3).

Considerando-se a importância da segurança em edificações, faz-se necessário aos engenheiros conhecerem a maioria das medidas que podem ser tomadas para preservar a vida e bens, destacando-se entre elas a verificação dos sistemas de proteção passiva. Portanto este trabalho objetiva comparar dois dos métodos que podem ser usados por engenheiros para a verificação do risco ao incêndio.

## MATERIAL E MÉTODOS

Primeiramente foi necessário dimensionar a estrutura para as condições normais de uso. A estrutura escolhida foi calculada com o auxílio do software EBERICK versão V8 gold. As premissas adotadas no dimensionamento foram: Concreto armado com  $f_{ck}$  de 50 MPa, módulo de elasticidade do concreto igual a 23800 MPa, peso específico do concreto de 25 KN/m<sup>3</sup>, classe de agressividade ambiental II. A estrutura é constituída por pavimento térreo, 3 pavimentos intermediários e cobertura, a altura do pavimento térreo até a cobertura é de 13.20 metros.

A primeira verificação foi realizada com o auxílio de tabelas presentes na NBR 15200: 2012, pelo método chamado de tabular. O método tabular previsto na norma brasileira é uma adaptação do modelo presente no Eurocode 2 part 1-2, obtido por meio de modelagem numérica e experimentos. Ao adotar o método tabular não será necessária a posterior verificação da estrutura em situação de incêndio, pois esta será garantida pelas dimensões mínimas (COSTA, 2008).

A segunda verificação faz uso de soluções por métodos simplificados. O método utilizado aplica o mesmo procedimento realizado para as situações normais de cálculo, acrescido de análise termo estrutural para avaliar a perda de resistência mecânica dos elementos, sendo aplicável a estruturas analisadas conforme curvas de incêndio padrão (COSTA, 2008).

O método das zonas consiste na subdivisão da seção de concreto em três ou mais faixas de igual espessura, para cada uma das quais é calculada a temperatura média bem como a correspondente resistência à compressão média,  $f_{cd}(\theta)$ , e o módulo de elasticidade. Também é necessário desconsiderar uma faixa de espessura  $az$ , zona danificada (EUROCODE 2, PART 1-2: 2004).

Este método considera as perdas de resistência do aço e do concreto de acordo com as equações a seguir:

$$f_{c,\theta} = f_{ck} \times K_{c,\theta} \quad (1)$$

$$f_{y,\theta} = K_s \cdot \theta \times f_{yk} \quad (2)$$

Essa verificação foi realizada com base na comparação entre os momentos resistentes e atuantes. O cálculo do momento resistente é baseado no equilíbrio de forças que agem na zona comprimida e tracionada (COSTA & SILVA, 2005).

Para obtenção do momento resistente é necessário calcular a profundidade do bloco comprimido de concreto, em seguida pode-se calcular o momento resistente, usa a equação 4 para o cálculo do momento positivo e a equação 5 para o cálculo do momento negativo.

$$a_{fi} = \frac{f_{yd,\theta} \cdot A_s}{\alpha_{cc} \cdot f_{cd,\theta} \cdot M \cdot b} \quad (3)$$

$$M_{r,fi} = A_s \cdot f_{yd,\theta} \cdot \left(d - \frac{a_{fi}}{2}\right) \quad (4)$$

$$M_{r,fi} = A_s \cdot f_{yd,\theta} \cdot \left(d - az - \frac{a_{fi}}{2}\right) \quad (5)$$

Onde:

d: altura útil;

az: espessura reduzida pelo método de Hertz

$f_{yd,\theta}$ : resistência característica do concreto exposto ao incêndio

A espessura reduzida foi obtida de acordo com metodologia presente no EUROCODE 2 part 1-2, sendo importante no cálculo do momento resistente de peças submetidas a momento negativo. Para momentos positivos a parte do concreto exposta a altas temperaturas estará tracionada, logo não afetará muito o cálculo do momento resistente (COSTA & SILVA. 2005).

Para verificar se o dimensionamento está correto é necessário verificar se o momento resistente de cálculo é maior que o momento atuante, que será obtido por uma simplificação permitida na norma. Segundo a ABNT NBR 15200: 2012 pode-se considerar que as solicitações de situação de incêndio são iguais a 70% das solicitações à temperatura ambiente.

É necessário, também, avaliar o risco de ruptura frágil, o que é feito dividindo se a altura do bloco de concreto comprimido pela altura útil da seção, valor que não poderá ser maior que 35% (COSTA, 2008).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estrutura analisada trata-se de um prédio de escritório e apresenta a seguinte planta para o pavimento tipo:

Figura 1. Planta pavimento tipo.

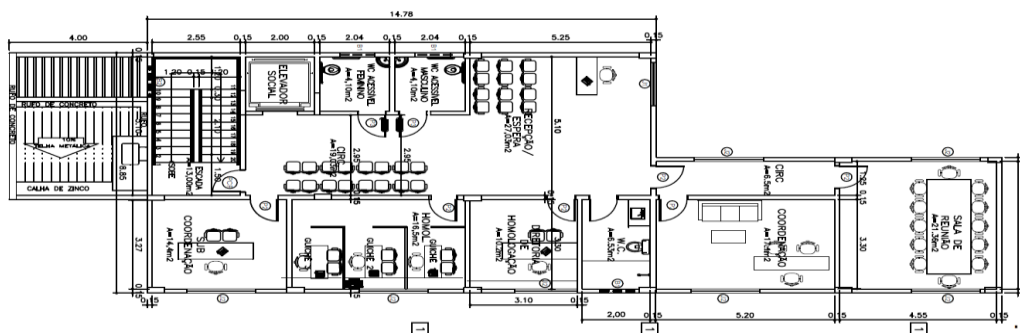


Tabela 1. Armadura positiva pavimento tipo

Nome	Espessura (cm)	Carga (kN/m <sup>2</sup> )	Mdx (kN.m/m)	Mdy (kN.m/m)	Asx	Asy
L1	10	7.28	3.32	11.59	(ø6.3 c/20)	(ø10.0 c/16)
L2	10	6.00	7.40	7.60	(ø8.0 c/19)	(ø8.0 c/16)
L3	10	6.00	1.72	11.50	(ø6.3 c/30)	(ø10.0 c/16)
L4	10	6.00	1.80	4.72	(ø6.3 c/20)	(ø6.3 c/18)
L5	10	6.00	8.55	6.72	(ø8.0 c/17)	(ø8.0 c/19)
L6	10	6.00	3.69	5.37	(ø6.3 c/20)	(ø6.3 c/15)
L7	10	7.00	3.46	6.37	(ø6.3 c/20)	(ø8.0 c/20)
L8	10	7.12	4.67	6.22	(ø6.3 c/20)	(ø8.0 c/20)
L9	10	6.00	3.78	11.39	(ø6.3 c/20)	(ø10.0 c/17)
L10	10	5.20	9.19	4.99	(ø8.0 c/15)	(ø6.3 c/16)

Tabela 2. Armadura negativa pavimento tipo

Dados				Resultados			
Viga	Trecho	Laje 1	Laje 2	Reação 1 (kN.m/m)	Reação 2 (kN.m/m)	Md (kN.m/m)	As (cm <sup>2</sup> )
V12	1	L6	L7	3.88	5.55	-8.51	(ø8.0 c/17)
V6	2	L6	L3	19.48	10.44	-16.57	(ø8.0 c/8)
V14	1	L7	L8	8.41	6.89	-9.97	(ø8.0 c/14)
V6	3	L7	L3	7.54	5.52	-7.92	(ø8.0 c/18)
V14	3	L2	L1	10.60	17.65	-16.39	(ø8.0 c/8)
V14	2	L2	L3	8.32	13.26	-16.72	(ø8.0 c/8)
V6	4	L2	L8	9.68	10.18	-15.73	(ø10.0 c/13)
V3	1	L3	L1	2.67	2.74	-15.33	(ø10.0 c/13)
V15	1	L8	L9	5.51	6.15	-9.73	(ø8.0 c/14)
V16	1	L5	L9	13.32	16.24	-21.88	(ø12.5 c/13)
V7	1	L9	L4	0.73	3.74	-4.67	(ø8.0 c/20 - 2.51)

O método tabular consiste no uso de uma série de tabelas com as dimensões mínimas para cada elemento estrutural. Comparando a altura da laje utilizada, de  $h = 10$  cm para o pavimento tipo, observamos que o elemento não satisfaz os requisitos para situação de incêndio no TRRF de 120 minutos.

Tabela 3. Verificação dos momentos positivos TRRFs de 30 e 60 minutos (Zonas)

PAVIMENTO TIPO	Md ATUANTE (kN.m/m) (X)	Md ATUANTE (kN.m/m) (Y)	TRRF 30		TRRF 60	
			Mrd, $f_x$ (KNm/m)	Mrd, $f_y$ (KNm/m)	Mrd, $f_x$ (KNm/m)	Mrd, $f_y$ (KNm/m)
L1	2.324	8.11	4.64	14.60	4.49	14.13
L2	5.18	5.32	8.04	9.55	7.86	9.33
L3	1.204	8.05	3.14	14.83	3.04	14.36
L4	1.26	3.30	5.15	5.72	5.06	5.62
L5	5.985	4.70	9.03	8.08	8.84	7.91
L6	2.583	3.76	5.10	6.80	4.92	6.56
L7	2.422	4.46	5.01	8.07	4.86	7.84
L8	3.269	4.35	5.01	8.07	4.86	7.84
L9	2.646	7.97	4.68	13.86	4.53	13.42
L10	6.433	3.49	10.40	6.04	10.08	5.86

Tabela 4. Verificação dos momentos positivos TRRFs de 90 e 120 minutos (Zonas)

PAVIMENTO TIPO	Md ATUANTE (kN.m/m) (X)	Md ATUANTE (kN.m/m) (Y)	TRRF 90		TRRF 120	
			Mrd, $f_x$ (KNm/m)	Mrd, $f_y$ (KNm/m)	Mrd, $f_x$ (KNm/m)	Mrd, $f_y$ (KNm/m)
L1	2.324	8.11	3.55	11.17	2.61	8.21
L2	5.18	5.32	6.24	7.41	4.54	5.39
L3	1.204	8.05	2.40	11.32	1.76	8.30
L4	1.26	3.30	3.97	4.41	2.84	3.16
L5	5.985	4.70	7.01	6.27	5.09	4.55
L6	2.583	3.76	3.80	5.07	2.73	3.64
L7	2.422	4.46	3.80	6.12	2.75	4.44
L8	3.269	4.35	3.80	6.12	2.75	4.44
L9	2.646	7.97	3.57	10.59	2.62	7.78
L10	6.433	3.49	7.92	4.60	5.78	3.36

Tabela 5. Verificação dos momentos negativos (Zonas)

LAJES	Md ATUANTE (kN.m/m)	TRRF 30	TRRF 60	TRRF 90	TRRF 120
		Mrd, $f_i$ (KNm/m)	Mrd, $f_i$ (KNm/m)	Mrd, $f_i$ (KNm/m)	Mrd, $f_i$ (KNm/m)
L6 - L7	5.957	7.72	6.91	6.58	5.81
L6 - L4	11.599	14.93	13.10	12.23	10.40
L7 - L8	6.979	9.22	8.22	7.80	6.84
L7 - L3	5.544	7.33	6.56	6.26	5.53
L2 - L4	11.473	14.93	13.10	12.23	10.40
L2 - L1	11.704	14.93	13.10	12.23	10.40
L2 - L3	11.011	14.16	12.40	11.58	9.83
L2 - L8	10.731	14.16	12.40	11.58	9.83
L3 - L1	6.811	9.22	8.22	7.80	6.84
L8 -L9	15.316	19.27	16.34	14.81	11.78
L5 -L9	3.269	6.64	5.96	5.69	5.04

O momento positivo obedece às especificações até o TRRF de 90 minutos, para o TRRF de 120 já apresenta falhas para algumas lajes. O momento negativo apresenta falhas a partir do TRRF de 90 minutos para o trecho L8 – L9 e falhas para vários trechos para o TRRF de 120 minutos.

Tabela 6. Análise do risco de ruptura frágil (TRRFs de 30 e 120 minutos)

d,ef (cm)	TRRF 30 MINUTOS			TRRF 120 MINUTOS		
	a,fi (cm)	afi / d,fi	SITUAÇÃO	a,fi (cm)	afi / d,fi	SITUAÇÃO
5.64	0.84	0.15	OK	1.10	0.25	OK
5.64	1.78	0.32	OK	2.34	0.52	RUPTURA FRÁGIL
5.64	1.02	0.18	OK	1.34	0.30	OK
5.64	0.79	0.14	OK	1.04	0.23	OK
5.64	1.78	0.32	OK	2.34	0.52	RUPTURA FRÁGIL
5.64	1.78	0.32	OK	2.34	0.52	RUPTURA FRÁGIL
5.54	1.71	0.31	OK	2.25	0.51	RUPTURA FRÁGIL
5.54	1.71	0.31	OK	2.25	0.51	RUPTURA FRÁGIL
5.64	1.02	0.18	OK	1.34	0.30	OK
5.42	2.67	0.49	RUPTURA FRÁGIL	3.52	0.83	RUPTURA FRÁGIL
5.64	0.71	0.13	OK	0.94	0.21	OK

## CONCLUSÕES

A comparação entre o método tabular e o das zonas, levando em consideração apenas o momento resistente e as dimensões das seções, têm convergência, pois ambos apresentam falhas apenas para o TRRF de 120. No entanto, o risco de ruptura frágil e análises dos efeitos dos momentos negativos devem ser realizadas cuidadosamente.

A estrutura apresenta risco de ruptura frágil nas regiões de momento negativo, perto dos apoios, pois nessa região o concreto encontra-se comprimido e o mesmo perdeu resistência devido à exposição ao incêndio.

Nas regiões de momento positivo, o concreto encontra-se tracionado, logo não acrescenta muito no cálculo do momento resistente. A armadura sofre perda de resistência mecânica, mas por encontrar-se protegida pelo concreto, terá perda de resistência mais perceptível apenas quando exposta a tempos prolongados de incêndio.

## AGRADECIMENTOS

À professora Maria de Lourdes por me apoiar nessa pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, G. B. M.L. Dimensionamento de vigas de concreto armado em situação de incêndio 2012. 231 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14432: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - procedimento. Rio de Janeiro, 2001.
- \_\_\_\_\_. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- \_\_\_\_\_. NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.
- \_\_\_\_\_. NBR 15200: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. Rio de Janeiro, 2012.
- COSTA, C. N. Dimensionamento de elementos de concreto armado em situação de incêndio. 2008. 401 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, 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. Métodos simplificados para o dimensionamento de estruturas de concreto sujeitas à flexão simples, em situação de incêndio. Anais do 47º Congresso Brasileiro do Concreto – CBC 2005.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN 1991-2-2: Eurocode 1: actions on structures - part 1.2: general actions - actions on structures exposed to fire. Brussels: CEN, 2002. 59 p.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN 1992-1-2: Eurocode 2: design of concrete structures - part 1.2: general rules - structural fire design. Brussel: CEN, 2004. 97 p.
- SILVA, Valdir Pignatta. Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. v. 1. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2012.