

## **ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DA NBR 15200:2012 NO DIMENSIONAMENTO DE LAJES NERVURADAS**

RAMON RUFINO VERÍSSIMO<sup>1</sup>, ÍTALO LINHARES SALOMÃO<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Engenheiro Civil, UNIFOR, Fortaleza-CE, ramon\_rufinu@hotmail.com;

<sup>2</sup> Mestre em Estruturas Prof. Titular, UNIFOR, Fortaleza-CE, italosalomao@unifor.br;

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2017  
8 a 11 de agosto de 2017 – Belém-PA, Brasil

**RESUMO:** Este trabalho aborda os aspectos gerais de lajes nervuradas em situação de incêndio, apresentando suas características conforme descritas nas normas brasileiras NBR 6118:2014 e NBR 15200:2012. Teve-se como objetivo, a comparação do consumo de concreto e aço no dimensionamento das lajes nervuradas quando utilizado apenas a primeira norma ou as duas em conjunto. Para o estudo de caso, foram dimensionadas 4 lajes nervuradas com espaçamento entre nervuras de 61 centímetros e outras 4 respeitando as dimensões mínimas apresentadas pelo método tabular da NBR 15200:2012. A partir dos resultados, observou-se que o consumo de concreto tende a ser maior nos casos das lajes com função corta-fogo (até 24,68% de acréscimo). O consumo de aço apresentou um aumento quando utilizada lajes com função corta-fogo, sendo, no modelo de menor tamanho de 0,83 kg e no de maior tamanho de 52,92 kg, representado 13,10% do peso de aço.

**PALAVRAS-CHAVE:** Concreto Armado. Laje nervurada. Corta-fogo.

### **ANALYSIS OF THE USE OF THE NBR 15200:2012 IN THE WAFFLE SLAB DESIGN**

**ABSTRACT:** This paper deals with the general aspects of a waffle slab in case of fire, presenting their characteristics as described in the NBR 6118:2014 and NBR 15200:2012. The aim was to compare the consumption of concrete and steel in the design of waffle slabs when only the first standard is used or both of them combined. For the case studied, were designed 4 waffle slabs with the spacing of the ribs of 61 cm and other 4 respecting the minimum dimensions given by the tabular method of NBR 15200:2012. From the results, the study shown that the consumption of concrete tends to be higher in the case of slabs with fire resistance properties (up to 24,68% increase). The steel consumption showed an increase when used the fire resistant slab of 0,83kg (in the smallest model) and 52,92kg (on the biggest model), representing 13,10% of the weight of steel.

**KEYWORDS:** Reinforced concrete. Waffle slab. Fire resistance.

### **INTRODUÇÃO**

A laje nervurada pode ser definida como uma grelha formada por um conjunto de vigas, ligadas a uma mesa maciça de concreto. No conjunto, as mesas de concreto resistem às tensões de compressão, as barras de aço, localizadas nas nervuras, resistem às tensões de tração e a nervura de concreto faz a ligação entre estes elementos, sendo o conjunto semelhante ao de uma viga T.

Estruturas quando expostas a elevadas temperaturas perdem resistência e conseqüentemente sua capacidade de suporte. As normas brasileiras apresentam dimensões mínimas para os elementos estruturais terem capacidade resistente adequada em situação de incêndio. Nesse contexto, a necessidade de segurança aliada com a economia de materiais é um objetivo almejado por engenheiros. A criação da NBR 15200:2012 serve, portanto, para garantir uma segurança estrutural contra a ação do fogo.

Este trabalho compara o consumo de materiais de uma laje nervurada quando dimensionada utilizando os parâmetros da NBR 6118:2014 e quando, além de atender às exigências dessa norma, também segue os requisitos da NBR 15200:2012.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para que os objetivos da NBR 15200:2012 sejam atendidos, a estrutura precisa apresentar duas funções importantes, sendo a primeira a função corta-fogo, ou seja, a estrutura não permite a passagem do fogo ou de calor suficiente para propagá-lo para o outro lado da estrutura, estancando-o e contendo-o. A segunda consiste na função de suporte, isto é, a estrutura mantém sua capacidade portante, não ocasionando um colapso global ou local da edificação quando exposta a um incêndio.

A NBR 15200:2012 apresenta como as estruturas de concreto devem ser dimensionadas a fim de respeitar as exigências de resistência ao fogo que constam na NBR 14432:2001. As exigências de resistência ao fogo podem ser formuladas com base em modelos de incêndio real, no entanto, o mais comum é exigir que a estrutura resista a um tempo preestabelecido (TRRF – tempo requerido de resistência ao fogo) sob uma elevação padronizada de temperatura no entorno do elemento estrutural.

O TRRF pode ser definido como o tempo mínimo, descrito em minutos, de resistência ao fogo que um elemento construtivo, quando sujeito ao incêndio-padrão, deve resistir respeitando os aspectos de integridade, estanqueidade e isolamento da estrutura. A NBR 14432:2001 indica o TRRF que deve ser respeitados pelas edificações brasileiras, estes independentes do material estrutural utilizado.

O TRRF é um valor em função do risco de incêndio e de suas consequências, não se trata, portanto, do tempo de duração do incêndio ou tempo resposta do Corpo de Bombeiros ou Brigada de Incêndio. O TRRF é um tempo que pode ser calculado segundo a Teoria das Estruturas e a Transferência de Calor ou encontrado experimentalmente. Como consequente, a NBR 15200:2012 propõe um método tabular, Tab. (1) e Tab. (2), para o dimensionamento de peças estruturais com função corta-fogo, o qual é bastante prático e depende do tipo de elemento estrutural e do TRRF.

Tabela 01: Dimensões mínimas para lajes nervuradas biapoiadas.

| TRRF<br>min | Nervuras<br>Combinações de $b_{\min}/C_1$<br>mm/mm |        |        | Capa*<br>$h/C_1$<br>mm/mm |
|-------------|--|--------|--------|---------------------------|
|             | 1  | 2      | 3      |                           |
| 30          | 80/15  | -      | -      | 80/10                     |
| 60          | 100/35   | 120/25 | 190/15 | 80/10                     |
| 90          | 120/45   | 160/40 | 250/30 | 100/15                    |
| 120         | 160/60   | 190/55 | 300/40 | 120/20                    |

Fonte: NBR 15200:2012.

Tabela 02: Dimensões mínimas para lajes nervuradas apoiadas em 3 ou em 4 lados ou contínua.

| TRRF<br>min | Nervuras<br>Combinações de $b_{\min}/C_1$ <sup>1)</sup><br>mm/mm |        |        | Capa*<br>$h/C_1$ <sup>2)</sup><br>mm/mm |
|-------------|--|--------|--------|---|
|             | 1  | 2      | 3      |   |
| 30          | 80/10  | -      | -      | 80/10                                   |
| 60          | 100/25   | 120/15 | 190/10 | 80/10                                   |
| 90          | 120/35   | 160/25 | 250/15 | 100/15                                  |
| 120         | 160/45   | 190/40 | 300/30 | 120/20                                  |

Fonte: NBR 15200:2012.

Onde  $b_{\min}$  corresponde à largura mínima da nervura,  $h$  corresponde à altura da laje e a coluna Capa\* representa as dimensões mínimas para garantir a função corta-fogo. O valor de  $C_1$  é dado através da distância entre o centro de gravidade da armadura principal e a superfície aquecida mais próxima. Este fator também pode ser determinado através da soma do cobrimento da armadura e o fator  $\Delta c$ , que pode ser adotado no valor de 5 cm para laje e 10 cm para viga.

Além do método tabular, a literatura também fornece outros meios mais complexos e mais precisos para o cálculo das solicitações da estrutura e a consequente dimensão das peças estruturais, sendo eles o método simplificado e o método avançado de cálculo.

O método simplificado de cálculo é baseado na hipótese de que as solicitações de cálculo em situação de incêndio, podem ser calculadas conforme o item 7.1 da NBR 15200:2012, ou seja, o

esforço resistente de cálculo em situação de incêndio de cada elemento pode ser calculado com base na distribuição de temperatura obtida para sua seção transversal, considerando exposição ao fogo. O método avançado de cálculo deve considerar pelo menos a combinação de ações em situação de incêndio composta rigorosamente com base na NBR 8681:2004 desde que calculados por modelos não lineares capazes de considerar as profundas redistribuições de esforços

A determinação da distribuição e temperatura na estrutura e a verificação do isolamento térmico podem ser feitas analiticamente por programas que considerem adequadamente a distribuição de temperatura na edificação. O atendimento aos requisitos de estanqueidade, quando exigidos, pode ser feito por ensaios experimentais do elemento que deve apresentar função corta-fogo, em escala reduzida (amostra do material ou sistema), de acordo com a NBR 5628:2001.

A composição dos oito casos estudados tem as seguintes características: Laje 1:  $l_x = 6$  m;  $l_y = 6$  m;  $h = 0,25$  m; cubetas de 61 x 61 cm; Laje 2:  $l_x = 7$  m;  $l_y = 7$  m;  $h = 0,25$  m; cubetas de 61 x 61 cm; Laje 3:  $l_x = 8$  m;  $l_y = 8$  m;  $h = 0,25$  m; cubetas de 61 x 61 cm; Laje 4:  $l_x = 8$  m;  $l_y = 8$  m;  $h = 0,30$  m; cubetas de 61 x 61 cm; Laje 5:  $l_x = 6$  m;  $l_y = 6$  m;  $h = 0,25$  m; cubetas de 80 x 80 cm; Laje 6:  $l_x = 7$  m;  $l_y = 7$  m;  $h = 0,25$  m; cubetas de 80 x 80 cm; Laje 7:  $l_x = 8$  m;  $l_y = 8$  m;  $h = 0,25$  m; cubetas de 80 x 80 cm; Laje 8:  $l_x = 8$  m;  $l_y = 8$  m;  $h = 0,30$  m; cubetas de 80 x 80 cm;

Inerente a todos os modelos, foram utilizados pilares de seção quadrada de 20 x 20 cm localizados nos vértices da estrutura e com pé direito de 306 cm. Estes elementos foram ligados por vigas de seção transversal de 15 cm de base e 50 cm de altura. O fck adotado foi de 25 MPa e a classe de agressividade ambiental utilizado foi II (cobrimento de 2,5 cm para lajes e 3 cm para vigas e pilares).

A análise estrutural foi realizada através da consideração de que os modelos se comportam como um pórtico espacial. Esse pórtico foi composto por barras que simulam as vigas e os pilares da estrutura, enquanto as lajes foram representadas pelo efeito de diafragma rígido incorporados a essas barras. Nas vigas e lajes foram calculados os efeitos oriundos dos esforços horizontais e verticais.

As cargas permanentes e variáveis foram calculadas com base na norma brasileira NBR 6120:1980 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Para o cálculo da carga permanente foi considerado 1,50 kN/m<sup>2</sup> e para a carga acidental o valor de 1,50 kN/m<sup>2</sup>. O ponderador de ações considerado tanto das cargas permanentes quanto das cargas variáveis no ELU foi de 1,40, gerando um valor total de cálculo de 4,20 kN/m<sup>2</sup>.

O ponto determinante para a escolha da espessura das lajes foi o que consta na Tabela 02, pois nela está descrito as dimensões necessárias para uma laje possuir a função corta-fogo, representando, assim, o método tabular de cálculo. Ademais, considerando a finalidade do projeto para uso residencial com altura do pé direito de 3,06 m, o Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF) é de 30 minutos. Desse modo, consultando a Tabela 02, obtém-se uma espessura de capa mínima de 8 cm, uma nervura de largura mínima de 8 cm e um Cmin de 1 cm.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a definição dos critérios, do lançamento das peças estruturais e das cargas, foi realizada a análise das lajes, obtendo os relatórios de esforços, volume de concreto e tabelas de armaduras. Analisando os resultados obtidos pelo dimensionamento das lajes tem-se as Tabelas 3 a 6, assim como suas representações gráficas através da Figura 1.

Tabela 3: Peso de aço.

| <b>LAJES</b> | <b>Ø 8.0</b> | <b>Ø 10</b> | <b>Ø 12.5</b> | <b>Ø 16</b> | <b>Ø 20</b> | <b>TOTAL</b> |            |           |
|--------------|--------------|-------------|---------------|-------------|-------------|--------------|------------|-----------|
|              | <b>Kg</b>    | <b>Kg</b>   | <b>Kg</b>     | <b>Kg</b>   | <b>Kg</b>   | <b>SOMA</b>  | <b>10%</b> | <b>Kg</b> |
| LAJE 1       | 0.00         | 0.00        | 112.32        | 0.00        | 0.00        | 112.32       | 11.23      | 123.55    |
| LAJE 2       | 62.72        | 0.00        | 143.13        | 0.00        | 0.00        | 205.85       | 20.58      | 226.43    |
| LAJE 3       | 0.00         | 51.52       | 73.96         | 262.60      | 0.00        | 388.08       | 38.81      | 426.88    |
| LAJE 4       | 0.00         | 0.00        | 194.61        | 172.74      | 0.00        | 367.35       | 36.73      | 404.08    |
| LAJE 5       | 34.45        | 0.00        | 78.62         | 0.00        | 0.00        | 113.08       | 11.31      | 124.38    |
| LAJE 6       | 0.00         | 89.68       | 125.37        | 0.00        | 0.00        | 215.05       | 21.50      | 236.55    |
| LAJE 7       | 0.00         | 0.00        | 0.00          | 0.00        | 410.51      | 410.51       | 41.05      | 451.57    |
| LAJE 8       | 0.00         | 0.00        | 0.00          | 0.00        | 415.45      | 415.45       | 41.55      | 457.00    |

Tabela 4: Volume de concreto.

| LAJES  | Lx   | Ly   | h    | TIPO DE CUBETA | Nº DE CUBETA | VOL. CUBETA | N (1/2) CUBETA | VOL. (1/2) CUBETA | VOLUME TOTAL |
|--------|------|------|------|----------------|--------------|-------------|----------------|-------------------|--------------|
| LAJE 1 | 6.00 | 6.00 | 0.25 | 60 x 60        | 81           | 0.0547      | 0              | 0.0220            | 4.57         |
| LAJE 2 | 7.00 | 7.00 | 0.25 | 60 x 60        | 100          | 0.0547      | 20             | 0.0220            | 6.34         |
| LAJE 3 | 8.00 | 8.00 | 0.25 | 60 x 60        | 124          | 0.0547      | 0              | 0.0220            | 9.21         |
| LAJE 4 | 8.00 | 8.00 | 0.30 | 60 x 60        | 124          | 0.0639      | 0              | 0.0245            | 11.27        |
| LAJE 5 | 6.00 | 6.00 | 0.25 | 80 x 80        | 36           | 0.0803      | 12             | 0.0344            | 5.69         |
| LAJE 6 | 7.00 | 7.00 | 0.25 | 80 x 80        | 64           | 0.0803      | 0              | 0.0344            | 7.11         |
| LAJE 7 | 8.00 | 8.00 | 0.25 | 80 x 80        | 81           | 0.0803      | 0              | 0.0344            | 9.49         |
| LAJE 8 | 8.00 | 8.00 | 0.30 | 80 x 80        | 81           | 0.1049      | 0              | 0.0460            | 10.70        |

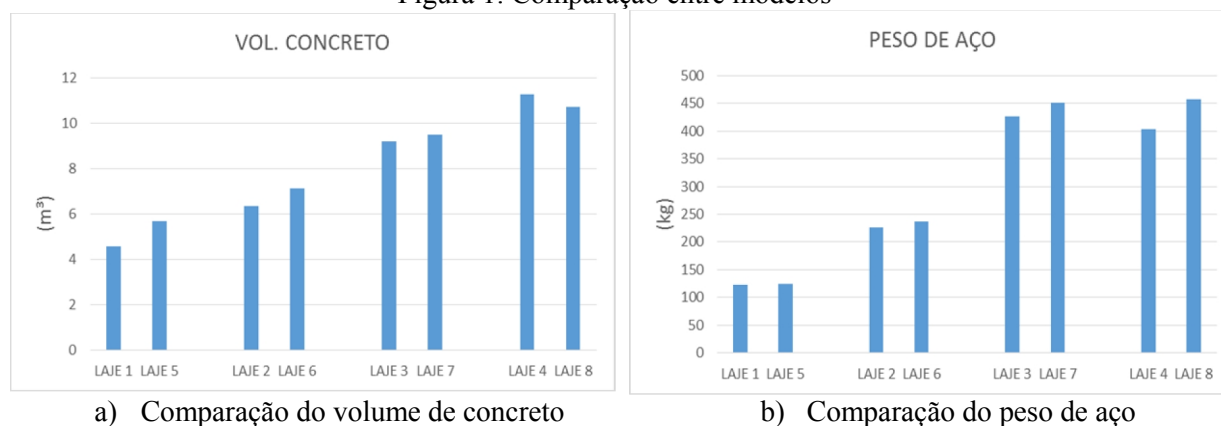
Tabela 5: Comparação do uso de concreto e aço

| Laje 6x6 m espessura de 0,25m | Vol.de Concreto     | Peso de Aço | Área de Aço           | Laje 7x7 m espessura de 0,25m | Vol.de Concreto     | Peso de Aço | Área de Aço           |
|-------------------------------|---------------------|-------------|-----------------------|-------------------------------|---------------------|-------------|-----------------------|
| Laje 1                        | 4.57 m <sup>3</sup> | 123.55 Kg   | 22.6 cm <sup>2</sup>  | Laje 2                        | 6.34 m <sup>3</sup> | 226.43 Kg   | 35.86 cm <sup>2</sup> |
| Laje 5                        | 5.69 m <sup>3</sup> | 124.38 Kg   | 22.82 cm <sup>2</sup> | Laje 6                        | 7.11 m <sup>3</sup> | 236.55 Kg   | 36.5 cm <sup>2</sup>  |
| Laje mais econômica           | Laje 1              | Laje 1      | Laje 1                | Laje mais econômica           | Laje 2              | Laje 2      | Laje 2                |
| Economia                      | 1.13 m <sup>3</sup> | 0.83 Kg     | 0.22 cm <sup>2</sup>  | Economia                      | 0.77 m <sup>3</sup> | 10.12 Kg    | 0.64 cm <sup>2</sup>  |
| % (ref.Lj 1)                  | 24.68%              | 0.67%       | 0.97%                 | % (ref.Lj 2)                  | 12.16%              | 4.47%       | 1.78%                 |

Tabela 6: Comparação do uso de concreto e aço

| Laje 8x8 m espessura de 0,25m | Vol.de Concreto     | Peso de Aço | Área de Aço          | Laje 8x8 m espessura de 0,30m | Vol.de Concreto      | Peso de Aço | Área de Aço           |
|-------------------------------|---------------------|-------------|----------------------|-------------------------------|----------------------|-------------|-----------------------|
| Laje 3                        | 9.21 m <sup>3</sup> | 426.88 Kg   | 61.2 cm <sup>2</sup> | Laje 4                        | 11.27 m <sup>3</sup> | 404.08 Kg   | 56.68 cm <sup>2</sup> |
| Laje 7                        | 9.49 m <sup>3</sup> | 451.57 Kg   | 62.8 cm <sup>2</sup> | Laje 8                        | 10.70 m <sup>3</sup> | 457.00 Kg   | 62.8 cm <sup>2</sup>  |
| Laje mais econômica           | Laje 3              | Laje 3      | Laje 3               | Laje mais econômica           | Laje 8               | Laje 4      | Laje 4                |
| Economia                      | 0.28 m <sup>3</sup> | 24.68 Kg    | 1.60 cm <sup>2</sup> | Economia                      | 0.57 m <sup>3</sup>  | 52.92 Kg    | 6.12 cm <sup>2</sup>  |
| % (ref.Lj 3)                  | 3.02%               | 5.78%       | 2.61%                | % (ref.Lj 4)                  | -5.09%               | 13.10%      | 10.80%                |

Figura 1. Comparação entre modelos



A laje dimensionada com função corta-fogo que possui 6 m em ambas as direções apresentou acréscimo de armadura de apenas 0,67% (0,83 kg) quando comparada à laje nervurada que não leva em consideração este fator. Por outro lado, ela apresentou um aumento considerável de concreto,

totalizando 1,13 m<sup>3</sup> (24,68%). Essa diferença se deu pela distribuição das cubetas, pois houve a necessidade da utilização de meia caixa nas extremidades da laje 5, assim apresentando uma maior região maciça entre essa forma e a face da viga, levando ao aumento do consumo de concreto.

De maneira similar, a laje dimensionada com função corta-fogo de 7 m demonstrou aumento de 0,77 m<sup>3</sup> (12,16%) de concreto em relação à sua contraparte (laje 2). No peso da armadura houve aumento de 4,47%, que representa 10,12 kg de aço na laje com as cubetas de 80 x 80 cm.

Também, a laje de comprimento igual a 8 m e espessura de 25 cm dimensionada com função corta-fogo demonstrou aumento de 0,28 m<sup>3</sup> (3,02%) de concreto em relação à laje 3. Houve aumento de 5,78% no peso da armadura, que representa 24,68 kg de aço na laje com as cubetas de 80 x 80 cm.

Por último, comparando a laje 8 com a laje 4, que não segue esta norma, houve uma diminuição de 0,57 m<sup>3</sup> (5,09%) no volume de concreto, porém, essa divergência se deve à distribuição das cubetas que, no caso dos elementos com dimensões de 61 x 61 cm, houve uma maior largura da região maciça na borda da laje, alavancado o consumo de concreto. O consumo de aço foi maior para a laje 8, apresentando um aumento de 13,10% (52,92 kg) do peso total de aço da laje 4.

## **CONCLUSÕES**

O projeto de uma estrutura deve ser capaz de impedir a transmissão de calor entre seus ambientes. Assim, algumas empresas de aluguel e fornecimento de serviços de construção de estruturas de concreto armado começaram a produzir formas plásticas com o intuito de seguir o método tabular apresentado na NBR 15200:2012 e garantir as características de estrutura corta-fogo.

Neste trabalho observou-se que o consumo de concreto tende a ser maior nas lajes com as cubetas de 80 x 80 cm (lajes corta-fogo), apresentando até 24,68% de acréscimo no volume. Porém, a distribuição das formas plásticas no tablado da laje é decisiva para a economia de concreto. Isso foi notório pois as lajes que apresentaram maiores larguras das regiões maciças de bordo possuíram, também, um maior consumo desse material.

Quando analisamos o consumo de aço, o estudo apresentou um aumento do consumo desse material em todos os casos que foram dimensionados pela ABNT NBR 15200:2012, chegando a representar 13,10% do peso de aço de toda a laje no caso de lajes de 8 m de lado e 30 cm de espessura.

A partir dos resultados obtidos para as lajes sem continuidade estudadas, fica demonstrado que o método tabular para cálculo de estruturas submetidas à ação de variação de temperatura, embora prático, não é econômico, sendo, portanto, indicada a utilização de métodos mais precisos.

## **REFERÊNCIAS**

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120:1980. Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5628:2001. Componentes construtivos estruturais - determinação da resistência ao fogo. Rio de Janeiro, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8681:2004. Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14432:2001. Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos das edificações. Rio de Janeiro, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15200:2012. Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. Rio de Janeiro, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118:2014. Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.