

IMPLEMENTAÇÃO DE UM SOFTWARE DE DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

*Yasmim Gabriela dos Santos Mendonça*¹

*Danielly Lobo de Oliveira*²

*Luiz Álvaro de Oliveira Júnior*³

RESUMO

Este estudo tem por finalidade desenvolver um *software* para dimensionamento à flexão de vigas de concreto armado simplesmente apoiadas de seção retangular em situação de incêndio, dotado de interface gráfica simples e de fácil utilização, com resultados obtidos pela Teoria de Flexão e as prescrições das normas ABNT NBR 15200:2012 e ABNT NBR 6118:2014. O *software* necessita de validação experimental para confirmar os resultados, uma vez que há divergências entre as normas mencionadas.

Palavras-chave: Flexão, Concreto Armado, Incêndio.

¹ Engenheira Civil pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás PUC-GO. Mestranda pela University of Texas at El Paso – EUA. Email: yasmim_engcivil@hotmail.com

² Engenheira Civil pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás PUC-GO. Email: danielly_dlo@hotmail.com

³ Professor efetivo da Pontifícia Universidade Católica de Goiás PUC-GO. Doutor em Engenharia de Estruturas pela Universidade de São Paulo - USP. Email: alvarojunior@pucgoias.edu.br.

IMPLEMENTATION OF SIZING SOFTWARE TO BENDING OF REINFORCED CONCRETE BEAMS IN FIRE SITUATION

ABSTRACT

This study aims to develop a software for sizing to bending of reinforced concrete simply supported beam of rectangular section in case of fire, with simple graphical interface and easy to use, with results obtained by Bending Theory and the requirements of the standards ABNT NBR 15200:2012 and ABNT NBR 6118:2014. The software requires experimental validation to confirm the results, since there are differences between the standards mentioned.

Palavras-chave: Bending, Reinforced Concrete, Fire.

Artigo recebido em 14/03/16 e Aceito em 22/04/16.

1. INTRODUÇÃO

Pereira, (2000) afirma que fogo é uma força imensa que deve ser controlada. Porém, quando se perde o controle, ou seja, quando se tem um incêndio, há ocorrência de danos e perdas irreparáveis. Portanto, para garantia da segurança e bem estar do homem, do meio ambiente e dos seus bens, desde a antiguidade se buscou o controle do fogo de maneira eficiente.

Silva, (2012) reafirma a importância da segurança contra o incêndio nas estruturas, a fim de minimizar, prioritariamente, o risco à vida. Entende-se como risco à vida a exposição severa à fumaças ou ao calor dos usuários da edificação e o desabamento de elementos construtivos sobre os usuários ou sobre a equipe de combate ao incêndio. Assim, conforme afirma (SILVA, 2012) para proteger a vida, é essencial a rápida desocupação do ambiente em chamas.

Conforme explica Berto, (1991) a obtenção das condições de segurança ao incêndio requer adotar meios adequados de combate, visando não permitir o colapso estrutural do edifício, facilitando a fuga dos usuários e garantindo a aproximação, o ingresso e a saída da equipe de combate no edifício para controle e extinção das chamas.

Conforme relata Coelho, (2010), apesar de a probabilidade de colapso estrutural de edifícios de concreto armado em situação de incêndio ser muito pequena, não é incomum a perda de bens materiais e de vidas humanas. Segundo esse autor ao longo dos tempos têm sido descritos inúmeros desastres e relatadas na literatura técnica diversas, iniciativas que demonstram uma preocupação cada vez mais crescente com o assunto. Dessa forma, foi possível difundir o conceito de segurança contra incêndio e de diversos mecanismos associados à sua prevenção ou limitação dos danos causados.

Em relato de Cunha Júnior (2014), afirma que antigamente a preocupação em relação às estruturas em situação de incêndio era proteger o patrimônio existente nas edificações, colocando em segundo plano as vidas das pessoas que ali estavam. Isso ocorria principalmente devido à falta de empresas seguradoras, o que preocupava a população sobre os prejuízos reais que o incêndio provocaria. Entretanto, atualmente a prioridade é salvar a vida das pessoas, principal motivo para a segurança contra o incêndio, ficando o patrimônio em segundo plano. Desse modo, o projeto de estruturas em situação de incêndio não se preocupa em conceber uma estrutura que resista ao incêndio (isto seria inviável), mas que ofereça condições seguras do ponto de vista estrutural, para a entrada da equipe de combate ao incêndio, desocupação das pessoas que estiverem no local, controle e extinção das chamas e saída da equipe de combate.

Silva (2012), enfatiza que para a segurança da estrutura é recomendado que sejam tomadas tanto as medidas de proteção ativa, que fazem parte das instalações prediais (“hidrantes, extintores de incêndio, sprinklers, etc.”), quanto as medidas de proteção passiva, que segundo a ABNT NBR 14432:2001, são definidas como o conjunto de medidas incorporado ao sistema construtivo do edifício e que reage passivamente ao desenvolvimento do incêndio, garante a resistência ao fogo, facilita a fuga dos usuários, bem como a aproximação e o ingresso no edifício para o desenvolvimento das ações de combate, como, por exemplo: a compartimentação, que serve para evitar a propagação do incêndio de dentro para fora de seus limites, com capacidade de isolamento, estanqueidade e segurança estrutural.

Em situação de incêndio, as estruturas devem atender a um tempo mínimo padrão de resistência requerido por norma, a fim de garantir a segurança na desocupação da edificação. De acordo com a ABNT NBR 14432:2001 o tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) é o “tempo mínimo de

resistência ao fogo, preconizado por essa norma, de um elemento construtivo quando sujeito ao incêndio-padrão”.

Para dimensionar estruturas em situação de incêndio é preciso analisar o comportamento dos materiais que a constituem, sendo os principais o concreto e o aço, que segundo Silva, (2012), são materiais estruturais que apresentam variações de suas propriedades físicas e mecânicas, caso da resistência ao escoamento, quando sujeitos a variação de temperatura.

Sobre o concreto, várias propriedades podem ser afetadas pelas altas temperaturas, como por exemplo: a resistência à compressão, a deformação específica, a densidade, a condutividade térmica e o calor específico. Quando se trata do aço, as principais propriedades alteradas pela temperatura são a resistência ao escoamento e o módulo de elasticidade. Entretanto, apenas a resistência à compressão e o módulo de elasticidade desses materiais serão discutidos neste trabalho, uma vez que o dimensionamento à flexão não é afetado pela variação das outras propriedades mencionadas com a temperatura.

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo desenvolver o *software* “*Ignis*” para dimensionar à flexão vigas de concreto armado de seção retangular em situação de incêndio, o qual atenderá às normas de segurança de incêndio e de dimensionamento.

3. DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

Na formulação descrita em Oliveira et al, (2015), primeiramente determina-se o parâmetro μ , que define o domínio de dimensionamento, pela Equação (1), em que as variáveis correspondem ao momento fletor de cálculo M_d , ao valor de cálculo da resistência à compressão do concreto f_{cd} , à largura da seção transversal b_w e é a altura útil da seção d , isto é, a distância entre a fibra mais comprimida e o centroide da armadura positiva.

$$\mu = \frac{M_d}{f_{cd} \cdot b_w \cdot d^2} \quad (1)$$

Conhecido o domínio, é necessário determinar a posição relativa da linha neutra pela Equação (2), devendo o valor encontrado satisfazer aos requisitos de ductilidade estabelecidos pela ABNT NBR 6118:2014 para garantir a capacidade de rotação plástica das seções.

$$\xi = 1,25 \left[1 - \sqrt{1 - \frac{1,6 \cdot \mu}{0,68}} \right] \quad (2)$$

O passo seguinte consiste em calcular o braço de alavanca entre as forças resultantes de tração e de compressão, o qual, nos domínios 3 e 4, é dado pela Equação (3).

$$\varphi = 1 - \frac{4}{10} \xi \quad (3)$$

Determinado o valor do braço de alavanca φ , basta calcular a área de aço da armadura de tração pela Equação (4), válida no domínio 3 ou pela Equação (5), válida no domínio 4, em que f_{yd} é o valor de cálculo da tensão de escoamento do aço e é a tensão efetivamente atuante no centroide da armadura. É importante ressaltar que o que diferencia o dimensionamento nos domínios 3 e 4 é apenas a tensão no centroide da armadura que se utiliza no cálculo. No domínio 3, a armadura escoá, então a tensão de escoamento deve ser a usada no cálculo da área de aço. Por outro lado, no domínio 4, a armadura não escoá, mas trabalha, devendo-se, por esta razão, empregar a tensão que ocorrer no centroide da armadura conforme a distribuição de deformações na seção.

$$A_s = \frac{M_d}{\varphi \cdot d \cdot f_{yd}} \quad (4)$$

$$A_s = \frac{M_d}{\varphi \cdot d \cdot \sigma_{sd}} \quad (5)$$

A ABNT NBR15200:2012 determina em seu item 5.1 que, na temperatura ambiente, considerada próxima de 20 °C, sejam respeitados os requisitos da ABNT NBR6118:2003 no projeto de estruturas de concreto. Contudo, apesar dessa recomendação, as duas normas apresentam dois pontos de divergência que merecem comentários.

O primeiro ponto diz respeito ao modelo constitutivo previsto na norma ABNT NBR6118:2003, que é descrito por uma parábola até a deformação de 2,0‰, seguindo-se um retângulo até a deformação de esmagamento do concreto, convencionada em 3,5‰, que supostamente é isenta da influência da temperatura, de modo que é razoável presumir que esse modelo seja válido na temperatura ambiente (≈ 20 °C) e para qualquer outra temperatura cujo efeito sobre as resistências dos materiais não seja significativo a ponto de exigir a aplicação da ABNT NBR15200:2012. Essa

mesma ideia é reforçada pela própria ABNT NBR 15200:2012, quando esta define os coeficientes redutores das resistências do aço e do concreto, que são unitários pelo menos até 100 °C (embora para alguns casos, esse limite seja maior) e, portanto, isso implica no fato de que temperaturas menores que 100 °C, segundo a ABNT NBR 15200:2012 não afetam significativamente o comportamento mecânico do aço e do concreto.

O segundo ponto se refere ao modelo constitutivo para o concreto em temperatura ambiente e em situação de incêndio. A ABNT NBR15200:2012 diz que o esmagamento do concreto ocorre quando a deformação de compressão atinge 20‰ para concretos com temperatura de 20 °C, valor quase 6 vezes maior que o previsto na ABNT NBR6118:2003. Além disso, na interpretação dos autores, a deformação correspondente à resistência do concreto na temperatura de 20 °C conforme Anexo B da ABNT 15200:2012 é de 2,5‰ e este valor é 25% maior que o definido para o mesmo ponto conforme o modelo da ABNT NBR6118:2003. A resultante de compressão, que equivale à área sob a curva tensão versus deformação do concreto na compressão, pela ABNT NBR15200:2012, resulta 2,6 vezes superior à obtida pelo modelo da ABNT NBR6118:2014. Surge, então, a indagação: *“Por que na temperatura ambiente os dois modelos constitutivos são diferentes?”*.

Desse modo, os autores optaram por manter a teoria de flexão com a formulação de acordo com os domínios de dimensionamento definidos na ABNT NBR6118:2003, reduzindo as resistências dos materiais conforme indicações da norma ABNT NBR15200:2012.

Há basicamente duas grandes implicações na alteração do modelo constitutivo pela norma ABNT NBR15200:2012: 1) a alteração dos domínios de dimensionamento e 2) a alteração das dimensões do bloco retangular de

compressão. Os limites dos domínios de dimensionamento são alterados porque dependem das deformações máximas permitidas para o aço e para o concreto (3,5‰ e 10,0‰). Já a altura do bloco retangular de compressão seria alterada de 0,8x para ηx , em que η dependeria da temperatura, o que reposicionaria as resultantes de tração e compressão.

O *Ignis* foi implementado na linguagem Object Pascal, uma linguagem orientada a objetos que permite o desenvolvimento de interfaces gráficas com rapidez e facilidade. O arquivo executável foi gerado com o auxílio do compilador Lazarus (versão 1.2.4), um compilador gratuito dessa linguagem.

Para considerar a influência das temperaturas elevadas no comportamento mecânico do aço e do concreto, as curvas que relacionam esses coeficientes à temperatura do incêndio apresentadas na ABNT NBR15200:2012 foram submetidas à regressão não-linear, utilizando o software Origin. As equações obtidas podem ser encontradas em (OLIVEIRA et al, 2015).

Para mostrar os resultados do programa, apresenta-se um exemplo. A coluna erro foi calculada dividindo a diferença entre os resultados do cálculo manual e os obtidos do Ignis, pelo resultado do cálculo manual.

Exemplo: Dimensionar uma viga de 20 cm de altura e 12 cm de largura, sujeita a momentos fletores.

Considere que o agregado graúdo era calcário, a temperatura do incêndio era de 600°C, armadura composta de barras de aço CA-60 de 12,5 mm de diâmetro, $f_{ck} = 45 \text{ MPa}$ Adote $\gamma_c = 1,4$, $\gamma_s = 1,15$, $\gamma_g = 1,0$, $\gamma_q = 1,0$ e $E_s = 200\,000 \text{ MPa}$. Os resultados são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados do exemplo 1.

Parâmetro	Dimensionamento		Erro %
	Manual	Ignis	
TRRF (min)	60	-	-
Kc	0,590	0,593	1,00
Ks	0,410	0,373	0,91
μ	0,230	0,229	0,99
ξ	0,403	0,402	0,99
ϕ	0,839	0,839	0,00
A _s (cm ²)	7,120	7,830	1,09

4 CONCLUSÕES

O *software* implementado é de aplicação acadêmica e por conta disso requer mais estudos para utilização. O *software* dimensiona à flexão, vigas de seção retangular simplesmente apoiadas de concreto armado em situação de incêndio nos domínios 2, 3 e 4, permitindo o cálculo de armadura dupla. O dimensionamento pode ser feito para temperaturas elevadas e também para temperatura ambiente. O *software* faz considerações simplificadas das solicitações de incêndio, e não dimensiona ao cisalhamento, nem verifica o Estado Limite de Serviço. O dimensionamento é possível para os aços CA-50 e CA-60, e agregados silicosos ou calcáreos.

A metodologia de dimensionamento proposta precisa de validação experimental, considerando as divergências existentes entre a ABNT NBR6118:2003 e a ABNT NBR15200:2012, além do fato de que esta última não explica, com o nível de detalhe necessário, os métodos simplificados de análise térmica.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, S. R. M.; ARAÚJO, D. L. **Curso de Concreto Armado**. Universidade Federal de Goiás. Goiânia. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681: Ações e seguranças nas estruturas** – Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

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

_____. **NBR 14432: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações** - Procedimento. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR 15200: Projeto de estruturas de concreto em situação de Incêndio**. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 15200: Projeto de estruturas de concreto em situação de Incêndio**. Rio de Janeiro, 2012.

BERTO, Antonio Fernando. **Medidas de proteção contra incêndio: aspectos fundamentais a serem considerados no projeto arquitetônico dos edifícios**. São Paulo: FAUUSP, 1991.

COELHO, A. L. **Incêndios em edifícios**. Editora Orion, primeira edição – outubro de 2010.

CUNHA JUNIOR, B. F. R. **Projetos de Estrutura de Concreto em situação de incêndio**. Palestra proferida no auditório do Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Goiás. Goiânia. 2014.

OLIVEIRA, D. L.; MENDONÇA, Y. G. S; OLIVEIRA e JÚNIOR, L. A.. **Implementação de um software de dimensionamento à flexão de vigas de concreto armado em situação de incêndio**. Trabalho Final de Curso. Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, junho de 2015.

Revista FLAMMAE

Revista Científica do Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco

Seção 1 – Artigos Técnico Científicos

Artigo publicado no Vol.02 Nº04 - Edição de JUL a DEZ 2016 - ISSN 2359-4829

Versão on-line disponível em: <http://www.revistaflammae.com>

PEREIRA, A. G. **Segurança contra incêndio**. São Paulo: Manuais Técnicos de Seguros, 2000.

SILVA, V. P. **Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio: conforme ABNT NBR 15200: 2012**. São Paulo: Blucher. 2012.