



CRICTE 2017

XXVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia



ANÁLISE PROBABILÍSTICA DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO SUJEITAS A FLEXÃO DIMENSIONADAS CONFORME A NORMA NBR-6118:2014

Eduardo Pagnussat Titello

Acadêmico do curso de Engenharia Civil na Universidade Federal do Rio Grande - FURG
dutitello@gmail.com

Éricson Rojahn

Acadêmico do curso de Engenharia Civil na Universidade Federal do Rio Grande - FURG
ericson.rojahn@gmail.com

Prof. Dr. Mauro de Vasconcellos Real

Professor/Pesquisador do curso de Engenharia Civil na Universidade Federal do Rio Grande -
FURG
mauroreal@furg.br

Resumo. *Este trabalho consiste na análise de confiabilidade de vigas de concreto armado submetidas à flexão pela ação de cargas permanentes e variáveis utilizando o Método de Monte Carlo através de um programa computacional de autoria própria em linguagem Fortran. Através da função estado limite inserida pelo usuário e das propriedades das variáveis do problema é obtida a probabilidade de falha da estrutura, índice de confiabilidade, além da média, desvio padrão e histograma da função estado limite. Foram analisadas 81 vigas bi-apoiadas com três razões de altura da viga por vão livre, razões de carga acidental por carga permanente, cargas totais e resistências a compressão características do concreto (f_{ck}), considerando ambiente de agressividade I e tolerância da variação das dimensões de 0,5cm. Dessa análise, concluiu-se que o f_{ck} do concreto tem pequena relação com o índice de confiabilidade, enquanto a relação carga acidental por carga permanente causa grandes variações.*

Palavras-chave: Concreto armado. Confiabilidade de estruturas. Método de Monte Carlo.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Araújo [1], o projeto de estruturas em concreto armado consiste na determinação das dimensões das peças, bem como da localização e da quantidade de aço em seu interior de forma a garantir que durante seu uso a peça não atinja um estado limite. Não deve ser atingido nenhum estado limite último, o que corresponderia a ruína da peça, nem um estado limite de serviço, o que impediria sua utilização.

Durante o dimensionamento das peças de concreto armado os materiais adotados têm suas propriedades resistentes minoradas por coeficientes parciais de segurança, enquanto os carregamentos atuantes são majorados pelos mesmos, conforme definido pela norma NBR-6118 [2]; desta forma são consideradas no projeto as incertezas quanto a intensidade do carregamento, propriedades mecânicas dos materiais e geometria da estrutura. O objetivo deste trabalho é a análise de vigas de

concreto armado sujeitas a flexão pelo método de Monte Carlo, obtendo dessa forma a probabilidade de falha e o índice de confiabilidade (β) das estruturas, as quais foram dimensionadas conforme a Ref. [2].

2. MÉTODOS

Para o desenvolvimento do estudo em questão foi necessário executar uma revisão bibliográfica sobre probabilidade e estatística, através da literatura de Haldar *et al.* [3], na mesma foram estudados conceitos sobre confiabilidade de estruturas e simulação pelo método de Monte Carlo.

Conhecendo os recursos necessários para a realização das simulações pelo método de Monte Carlo foi então escolhida a linguagem de programação Fortran para implementação do algoritmo, esta apresenta grandes vantagens por ser desenvolvida especialmente para o cálculo numérico, sendo veloz e compatível com diversos sistemas operacionais. Através de Cunha [4] foram revistos conceitos sobre a linguagem Fortran.

A segunda etapa do estudo foi o desenvolvimento e validação de um programa computacional em Fortran para realização das simulações e processamento dos resultados. Foram programadas rotinas para a geração de números aleatórios nas distribuições normal, log-normal e Gumbel; além da análise estatística dos dados de resposta do problema. Desta forma para qualquer função estado limite $g(X)$ definida pelo usuário com seus devidos parâmetros o programa é capaz de realizar uma análise probabilística pelo método de Monte Carlo, exportando ao fim da análise um relatório com a probabilidade de falha, índice de confiabilidade da estrutura, além da média, desvio padrão e histograma da função estado limite.

3. MATERIAIS

O estudo em questão fundamentou-se na análise de 81 vigas de concreto armado dimensionadas conforme as Ref. [1 e 2], para tal foram combinadas três razões de altura da

viga pelo vão (h/l), valores de resistência a compressão do concreto (f_{ck}), valores de carga total (p) e razões de carga acidental por carga permanente (r), estes são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Valores adotados nas combinações

h/l	f_{ck} (MPa)	$p=g+q$ (kN/m)	$r=q/g$
0,075	20	10	0,5
0,100	30	20	1,0
0,125	40	30	2,0

Para todas as vigas foi adotada classe de agressividade ambiental I, estrutura bi-apoiada com vão de 5 m, largura da seção 20 cm e tolerância das dimensões na execução de 0,5 cm. O dimensionamento à flexão resultou em vigas de armadura simples e vigas de armadura dupla, as Eq. 1 e 2 representam os estados limites últimos de flexão para as vigas de armadura simples e de armadura dupla, respectivamente. Para uso da Eq. 2 foi necessário garantir que em todos os casos a armadura comprimida atingiu o escoamento.

$$g(\dots) = \theta_R \left(\alpha_s \times A_s \times f_y \left(d - \frac{0,5 \times f_y \times \alpha_s \times A_s}{0,85 \times f_c \times b} \right) \right) - \theta_S \left(\frac{1^2}{8} (g + q) \right) \quad (1)$$

$$g(\dots) = \theta_R (0,408 \times \xi_{lim}^2 \times d^2 \times b \times f_c + \alpha'_s \times A'_s \times \sigma'_s (d \times \xi_{lim} - d') + \alpha_s \times A_s \times f_y \times d (1 - \xi_{lim})) - \theta_S \left(\frac{1^2}{8} (g + q) \right) \quad (2)$$

Onde θ_R e θ_S são os erros de modelo de resistência e sollicitação, respectivamente; α_s e α'_s são as relações entre área de aço existente e calculada, para armadura tracionada e comprimida; as áreas de aço calculadas (A_s e A'_s) e vão (l) tem valores constantes para cada viga. As alturas úteis (d e d') são dadas pelas Eq. 3 e 4, respectivamente.

$$d = h - c - \Delta d \quad (3)$$

$$d' = c + \Delta d' \quad (4)$$

Onde Δd e $\Delta d'$ são as distâncias da parte externa do estribo ao centroide da armadura em questão, tendo também valores constantes para cada viga. O coeficiente de variação adotado para a resistência do concreto é de 15% enquanto para o aço é 5%. As propriedades estatísticas consideradas para as variáveis do problema são apresentadas na Tabela 2, onde Var. significa que o valor é alterado para cada viga.

Tabela 2. Propriedades estatísticas das variáveis

Variável	Distrib.	μ	σ
θ_R e θ_S	Normal	1,00	0,05
α_s e α'_s	Normal	1,07	0,05
A_s e A'_s	Constante	Var. (m ²)	-
f_c	Normal	$1,33f_{ck}$ (kN/m ²)	$0,15\mu$
ξ_{lim}	Constante	-	-
f_y e σ'_s	LN	$1,09f_{yk}$ (kN/m ²)	$0,05\mu$
h	Normal	Var. (m)	0,005
c	Normal	0,025 (m)	0,005
Δd e $\Delta d'$	Constante	Var. (m)	-
b	Normal	0,20 (m)	0,005
l	Constante	5,00 (m)	-
g	Normal	Var. (kN/m)	$0,10\mu$
q	Gumbel	Var. (kN/m)	$0,25\mu$

4. RESULTADOS OBTIDOS

O dimensionamento das 81 vigas resultou em 12 vigas de armadura dupla, acontecendo apenas em vigas com razão h/l igual a 0,075; também ocorreram 9 vigas onde foi adotada armadura mínima, todas elas com h/l igual a 0,125 e carga total de 10 kN/m. As Figuras 1, 2 e 3 apresentam a variação de β em função das demais propriedades das vigas, onde cada figura é referente à um valor de f_{ck} .

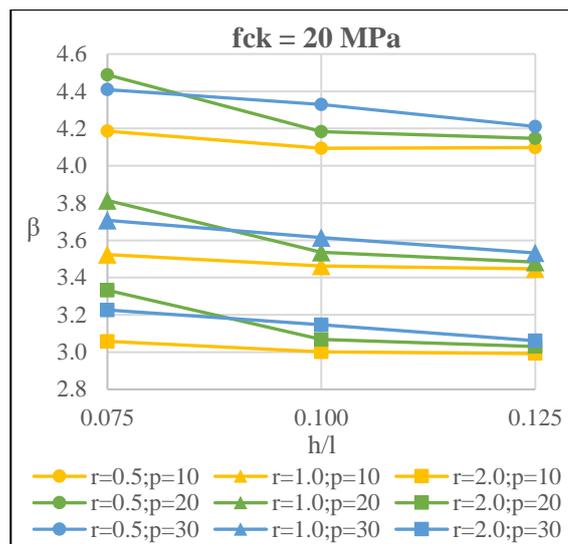


Figura 1. Vigas com $f_{ck} = 20$ MPa

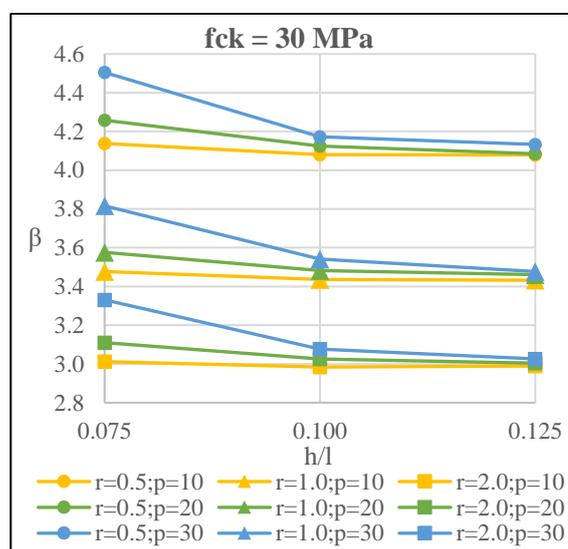


Figura 2. Vigas com $f_{ck} = 30$ MPa

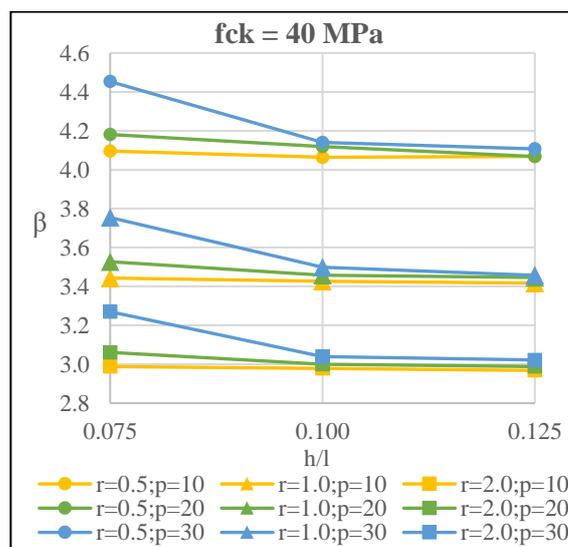


Figura 3. Vigas com $f_{ck} = 40$ MPa

Através das Fig. 1, 2 e 3 pode-se observar que a confiabilidade de vigas de concreto armado não sofre grande interferência pela resistência do concreto empregado, a maior variação é função da relação r entre carga accidental e carga permanente. O aumento da razão h/l causa uma pequena redução no índice de confiabilidade, porém quanto maior for essa relação menor é a variação devido a carga total p , por fim quanto maior a carga p adotada no dimensionamento maior é a confiabilidade da viga.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Segundo a Ref. [1], o índice de confiabilidade de um projeto cotidiano deve ser compreendido entre 3,5 e 4,0, dependendo das consequências da possível falha estrutural, para estruturas de reduzida consequência em caso de falha pode ser adotado um índice de confiabilidade em torno de 3,0. As peças analisadas têm seus índices de confiabilidade variando de 2,97 a 4,51, ou seja, algumas apresentam grande confiabilidade, que pode significar um projeto antieconômico, enquanto outras não garantem segurança suficiente para aplicações usuais; é importante ressaltar que estruturas de concreto com grande razão de carga accidental por carga permanente não podem ser consideradas estruturas usuais.

Por fim através desse tipo de estudo é possível calibrar os coeficientes de segurança adotados em projetos de estruturas excepcionais, evitando gastos desnecessários e garantindo a segurança almejada.

Agradecimentos

Ao CNPq PIBIC-FURG pela bolsa de Iniciação Científica concedida ao primeiro autor e de Produtividade em Pesquisa ao Orientador.

6. REFERÊNCIAS

[1] J. M. de Araújo, Curso de Concreto Armado. 4 vols. Rio Grande: Ed. Dunas, 2014.

[2] ABNT, NBR-6118 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

[3] A. Haldar e S. Mahadevan, Probability, Reliability, and Statistical Methods in Engineering Design. John Wiley and Sons, 2000.

[4] R. D. Cunha, Introdução a linguagem de programação Fortran 90. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2005.