

MÉTODOS PROBABILÍSTICOS APLICADOS NOS ESTADOS LIMITES

Takashi Yojo (yojos@ipt.br) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de S.P. S.A. - IPT

RESUMO: Para analisar o comportamento real de uma estrutura é necessário considerar as incertezas provenientes da avaliação inadequada do material, a variabilidade na resistência mecânica e nas solicitações, o tempo, etc. A introdução destas variabilidades no modelo estrutural gera complexidade matemática de origem probabilística nas equações de equilíbrio das estruturas. Este modelo estrutural mais complexo é denominado probabilístico ou estocástico. Neste trabalho é apresentado o modelo probabilístico denominado na literatura pela sigla FORM (first-order reliability methods), formulado por Hasofer e Lind para distribuições normais e modificado por Rackwitz e Fiessler para permitir outros tipos de distribuições probabilísticas. O método permite avaliar a probabilidade de ruína da estrutura nos estados limites, estabelecendo o índice de segurança β para variáveis múltiplas, por exemplo, resistência ao momento fletor e esforço solicitante combinados. Para a distribuição normal o índice de segurança β é igual ao número de desvios padrões. Outras melhorias como a redundância da estrutura podem ser introduzidas, porém com o aumento da complexidade matemática. Na modelagem da redundância é necessário considerar os mecanismos de ruptura com elementos em série, em paralelo e misto. Para o modelo de resistência de elementos em paralelo pode-se utilizar a teoria de Daniels e para elementos em série a teoria do elo mais fraco. Fundamentado em FORM podem ser determinados os coeficientes de majoração e minoração utilizados em normas técnicas para a madeira e produtos derivados em função da resistência, solicitação, variabilidade e risco de ruína.

Palavras-chave: incerteza, FORM, madeira, confiabilidade

PROBABILISTIC METHODS APPLIED TO LIMIT STATES

ABSTRACT: For the analysis of actual structure, the uncertainty resulted from miss-evaluation of materials, variability in strength and loading, the time, etc; must be considered. This variability introduces mathematical complexity in equilibrium equations of structure. This complex structural model is denominated Probabilistic or Stochastic model. In this paper the probabilistic model denominated FORM (first order reliability methods) is presented, which was formulated by Hasofer and Lind for normal distribution, and later it was modified by Rackwitz and Fiessler in order to consider any kind of distribution. This method allows the probability of rupture in limit state to be evaluated, through the safety index β applied to multiple variables combined, for instance, flexure strength and external load. For normal distributions the safety index β is the number of standard deviations. Other improvements like structural redundancy can be incorporated, but it increases the mathematical complexity. The redundancy can be introduced with system mechanism in series, parallel and mixed. Parallel system can be modeled by Daniels theory and the in series system by weakest link theory. The coefficients used in standards can be determined based on FORM.

Keywords: uncertainty, FORM, wood, reliability

1 INTRODUÇÃO

O cálculo estrutural passou por diversas mudanças para incorporar a evolução da ciência e tecnologia. A última evolução ocorreu com a introdução do método dos estados limites em vez do método das tensões admissíveis.

No método das tensões admissíveis o critério de segurança é considerado satisfatório quando a resistência média do material for igual ou superior à solicitação multiplicado por um coeficiente de segurança pré-definido. No entanto, a variabilidade não está sendo levada em consideração.

No método dos estados limites, o critério de segurança é considerado satisfatório quando a probabilidade de ruína do material perante uma dada solicitação for inferior a um valor estabelecido. Este modelo estrutural é denominado probabilístico ou estocástico.

As incertezas nos parâmetros do modelo estrutural podem ocorrer ao longo do tempo em função das variáveis como tipo de material, geometria da estrutura e tipo de solicitação. O material pode sofrer um processo de deterioração, além disso, quanto mais tempo transcorrer, a probabilidade de ocorrer eventos é maior. A geometria da estrutura pode ser responsável por comportamento ser isostático ou hiperestático. Para estruturas isostáticas a ruptura é representada por elo mais fraco de elementos em série. A representação estrutural das estruturas hiperestáticas é um conjunto de elementos dispostos em paralelo, cujos detalhes podem ser encontrados em Rausand (2004), Bodig (1992) e Ferry Borges (1971).

Os métodos probabilísticos atualmente utilizados podem ser classificados em três níveis, conforme apresentados na Figura 1 extraída da norma CEN EN 1990: 2002. O nível I é conhecido por método semi-probabilístico, onde se utiliza os parâmetros como a média, valor característico e coeficientes parciais. A calibração dos coeficientes do nível I é realizada com o método do nível II, conhecido pela sigla FORM (First Order Reliability Method). O nível III é o método probabilístico completo onde se utiliza variáveis na sua plenitude, porém de difícil manipulação matemática. Formulações utilizadas pelo método FORM podem ser encontradas em Haldar (2000^{a,b}) e Melcher (1999).

O desenvolvimento do método probabilístico deve-se, principalmente, a Hasofer e Lind (1974), e o seu aperfeiçoamento para FORM pode ser atribuído a Rackwitz e Fiessler (1978). Este método possui as principais características de um modelo probabilístico e permite trabalhar com qualquer tipo de distribuição, inclusive com variáveis aleatórias múltiplas. A limitação deste método se restringe o cálculo da probabilidade de ruína ao estado limite, quando se tratar de distribuições não Gaussianas ou não normais.

Os valores de projeto no método semi-probabilístico são determinados pela probabilidade de ruína adotada e as relações com os valores característicos são obtidas com a utilização dos coeficientes parciais de minoração e majoração para as grandezas resistências e solicitações, respectivamente.

Neste trabalho será apresentada conceitualmente a modelagem baseado em Haldar (2000^a). Para tornar fácil a sua compreensão, será utilizada função de probabilidade de Gauss ou Normal, no entanto a técnica pode ser aplicada a quaisquer outras distribuições de probabilidade. Essa conceituação é fundamental para entender como foram gerados os coeficientes parciais de minoração e majoração aplicadas às resistências e solicitações, respectivamente, admitidas como sendo independentes.