



Universidade Presbiteriana Mackenzie

ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL

Capítulo V

Segurança nas estruturas

Disciplina: *Estruturas de Madeira e Metálicas*
Prof. Dr. Celso Antonio Abrantes
2015- 2º Semestre



Universidade São Judas Tadeu

ENGENHARIA CIVIL

Capítulo V

Segurança nas estruturas

Disciplina: *Estruturas de Madeira e Metálicas*
Prof. Dr. Celso Antonio Abrantes
2015- 2º Semestre

Capa

Capítulo V

Segurança nas estruturas

Disciplina: *Estruturas de Madeira e Metálicas*
Prof. Dr. Celso Antonio Abrantes
2015- 2º Semestre

2.1 Segurança nas estruturas

Para que uma estrutura seja considerada segura e apresente comportamento adequado ao seu uso, é necessário que em nenhum dos seus pontos, os esforços solicitantes, tensões, deslocamentos, acelerações, etc, não ultrapassem determinados valores limites inerentes aos materiais nela empregados, bem como às suas formas e finalidades.

Como as ações, resistências e seus efeitos são probabilísticos, a garantia de não ocorrência de um estado limite pode também ser feita probabilisticamente. Com base nas experiências anteriores, as normas técnicas, estabelecem coeficientes de segurança com nível suficientemente baixo de probabilidade de violação de um estado limite, a serem aplicados às ações e /ou resistências.

2.1.1 Ações e resistências

“ Denominam-se ações a todas as causas de tensões e/ou deformações e/ou movimento de corpo rígido em uma estrutura” (Queiroz,1986,p.17).

As ações classificam-se quanto à sua origem, variabilidade e modo de atuação, conforme será abordado adiante.

A resistência de um material é determinada pela máxima tensão que pode ser aplicada a corpos da prova isentos de defeitos, até o aparecimento de fenômenos particulares de comportamento, além dos quais há restrição de emprego do material em elementos estruturais.

2.1.1.1 Natureza probabilística das ações e das propriedades mecânicas dos materiais, valores médios e medidas de dispersão

Numa estrutura, as ações não são de natureza determinística e sim , probabilísticas. Assim, procura-se adaptar as distribuições de frequência reais das ações às distribuições clássicas de

probabilidade, como a normal, gama e outras, com o objetivo de determinar além dos valores médios, as medidas de dispersão.

DP= Densidade de probabilidade

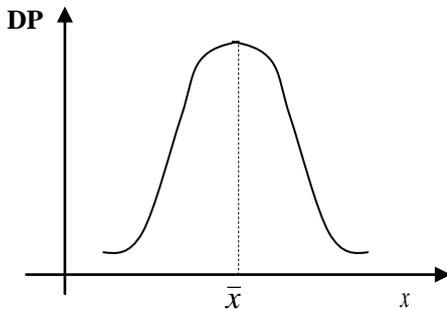


Figura 1: Distribuição normal com muita dispersão

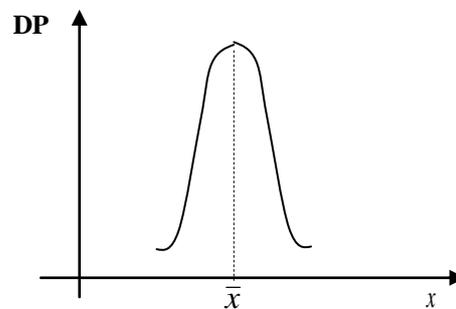


Figura 2: Distribuição normal com pouca dispersão

A figura 1 mostra uma curva com grandes medidas de dispersão, com grande parte dos valores medidos distantes da média (\bar{x}). Ao contrário da curva da figura 1, a curva da figura 2 mostra a maior parte dos valores medidos próximos à média (\bar{x}).

Da mesma forma, laboratórios realizam ensaios de materiais e com base nos resultados dos mesmos, obtêm curvas de distribuição de frequências, valores médios e coeficientes de variação.

Os valores médios dos diversos tipos de ações (permanentes, sobrecargas, vento) e seus coeficientes de variação (variância, desvio padrão e coeficiente de variação), bem como dos valores médios das propriedades mecânicas dos materiais e dos seus coeficientes de variação, são dados pelas fórmulas:

$$\text{Média: } \dots\dots\dots \bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots\dots\dots + x_n}{n}$$

$$\text{Variância: } \dots\dots\dots \sigma_x^2 = \left[\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots\dots\dots + (x_n - \bar{x})^2}{n} \right]$$

$$\text{Desvio padrão: } \dots\dots\dots \sigma_x = \sqrt{\sigma_x^2}$$

$$\text{Coeficiente de variação: } \dots\dots V_x = \frac{\sigma_x}{\bar{x}}$$

2.1.1.2 Valores nominais e valores de cálculo das ações e das propriedades mecânicas dos materiais

As mesmas técnicas fornecem, para um período definido, valores nominais das ações com pequena probabilidade de serem superados, podendo ser considerados como os valores máximos esperados.

Em casos não normalizados, como por exemplo o das ações devidas a equipamentos, seus valores nominais são fornecidas pelos fabricantes dos equipamentos em questão.

No caso dos materiais, com base nas curvas de distribuição de freqüências, nos valores médios e nos valores dos coeficientes de variação, as normas técnicas fornecem valores nominais das suas propriedades mecânicas que, devido a pequena probabilidade de ocorrência de valores inferiores, podem ser considerados como valores mínimos esperados.

Na determinação dos valores nominais das ações e das propriedades mecânicas dos materiais, existem incertezas. Tais incertezas, associadas a outras provenientes de modelos matemáticos usados, dimensões de seções transversais das peças empregadas, erros de execução, etc, levam a necessidade de correção desses valores nominais, através dos coeficientes de segurança, obtendo-se assim os chamados valores de cálculo, tornando baixa a probabilidade de violação de um estado limite.

2.1.1.3 Gráficos ilustrativos

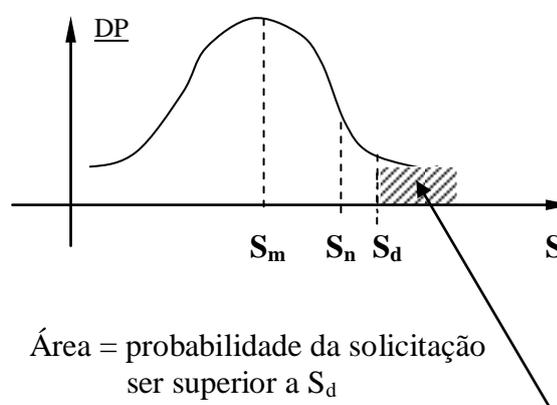


Figura 3: Valor médio, nominal e de cálculo da sollicitação, numa distribuição normal

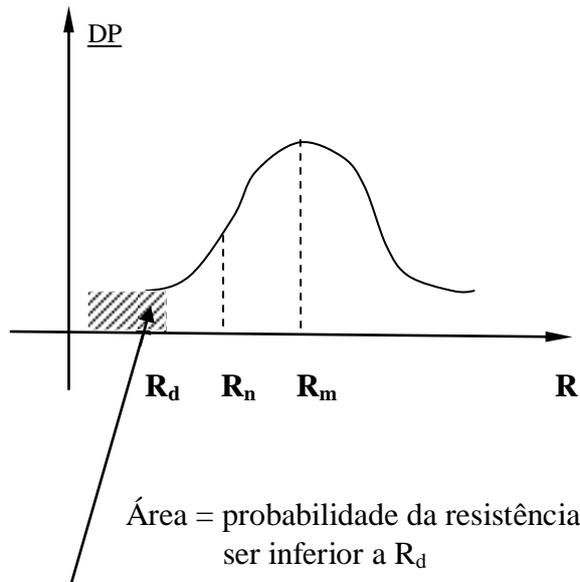


Figura 4: Valor médio, nominal e de cálculo da resistência, numa distribuição normal

2.1.2 Métodos de dimensionamento

Há basicamente três métodos de dimensionamento, o método das tensões admissíveis, o método dos coeficientes das ações e o método dos estados limites.

2.1.2.1 Método das tensões admissíveis

Foi um método largamente usado, onde se aplica o coeficiente de segurança (ϕ) nas resistências nominais.

$$\text{Assim, } S_n \leq R_d \Rightarrow S_n \leq \theta R_n$$

onde: ϕ = coeficiente de segurança da resistência nominal ($\phi < 1$)

ou, empregando tensões, vem: $\sigma_n \leq \bar{\sigma}$

σ_n = tensão nominal atuante devida a solicitação nominal S_n

$\bar{\sigma}$ = tensão de cálculo (admissível), devida a resistência de cálculo R_d

2.1.2.2 Método dos coeficientes das ações

Neste método, o coeficiente de segurança (γ) é aplicado às ações nominais.

$$S_d \leq R_n \Rightarrow \gamma S_n \leq R_n$$

onde: γ = coeficiente de segurança da ação nominal ($\gamma > 1$)

2.1.2.3 Método dos estados limites

Estados limites são estados a partir dos quais a estrutura apresenta desempenhos inadequados às finalidades da construção. Classificam-se em estados limites últimos e estados limites de utilização.

Neste método, aplicam-se coeficientes de segurança tanto as ações nominais quanto as resistências nominais. Pode também ser chamado de método dos coeficientes das ações e das resistências.

Assim, $S_d \leq R_d \Rightarrow \gamma S_n \leq \theta R_n$, com γ e θ definidos anteriormente.

2.1.3 Situações de dimensionamento

Em relação a uma maior ou menor diferença entre os valores das solicitações de cálculo e das resistências de cálculo em estados limites, os dimensionamentos podem ser enquadrados em três situações, sem folga (ou no limite), com folga e colapso.

Na situação de dimensionamento sem folga (ou no limite), a resistência de cálculo é igual á solicitação de cálculo, sendo o mais econômico pois emprega apenas o material necessário ao esforço. Já no dimensionamento com folga, há mais material que o necessário, sendo anti-econômico.

Muitas vezes o engenheiro, quer por padronização, quer por aproveitamento de materiais disponíveis ou para manter características arquitetônicas, é obrigado a dimensionar com folga.

A situação de colapso caracteriza-se por solicitações de cálculo superiores a resistência de cálculo, situação em que a quantidade de material empregada não é suficiente para suportar as ações com segurança.

2.1.3.1 Gráficos ilustrativos das diversas situações de dimensionamento

- Dimensionamento sem folga (no limite): $S_d = R_d$

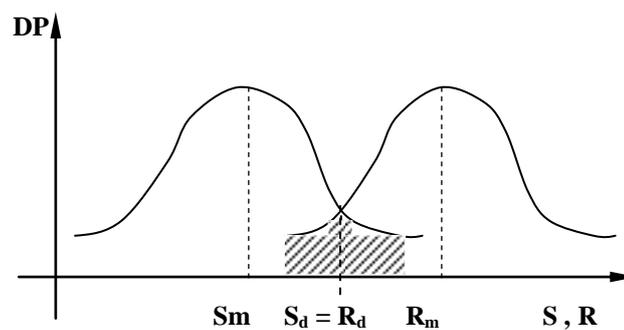


Figura 5: Distribuição de probabilidade para dimensionamento sem folga (

-Dimensionamento com folga : $S_d < R_d$

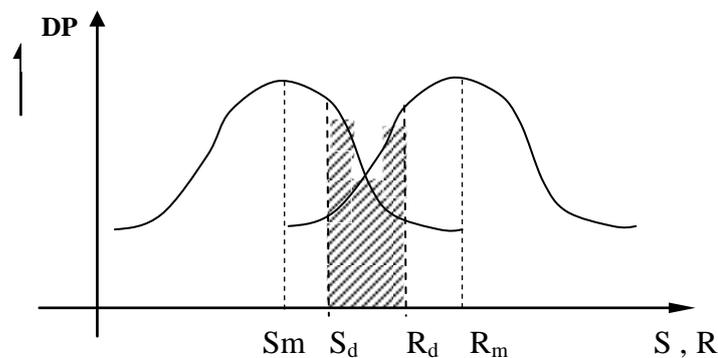


Figura 6: Distribuição de probabilidade para dimensionamento com folga.

- Situação de colapso : $S_d > R_d$

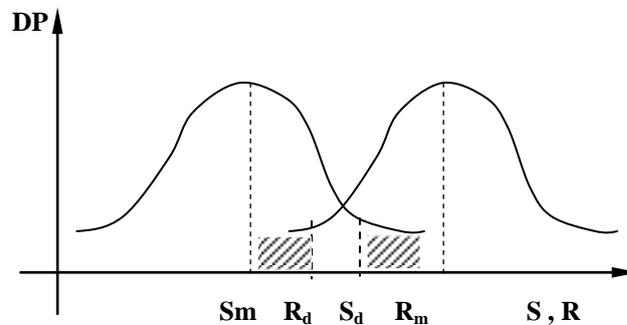


Figura 7: Distribuição de probabilidade para situação de colapso.

2.1.4 Comentários sobre os métodos de dimensionamento

A aplicação do coeficiente de segurança apenas às ações ou às resistências é falho, visto que há incertezas em ambas.

Assim, o método de dimensionamento mais correto é o método dos estados limites últimos, pois aplica coeficientes de segurança nas ações e resistências.

No Brasil, este método vem sendo adotado em substituição do método das tensões admissíveis, a medida em que as normas técnicas são revisadas, como ocorreu com as normas de concreto armado, estruturas metálicas e recentemente madeiras.

2.1.5 Índice de segurança

Mesmo trabalhando com valores de cálculo das ações e resistências, há uma pequena probabilidade de violação dos estados limites. Para maior clareza e facilidade de discussão, as situações representadas nas figuras 5, 6 e 7 foram representadas numa única curva de distribuição com $x = \ln(R/S)$, conforme a figura 8 abaixo.

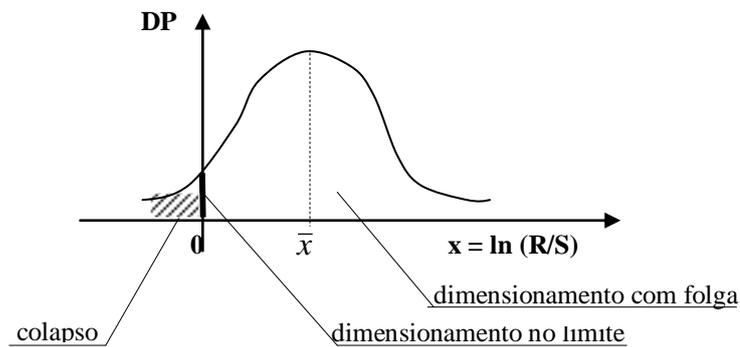


Figura 8: Situações de dimensionamento com $x = \ln (R / S)$

Se, $x = \ln (R / S) > 0$, $R / S > 1$, $R > S$, dimensionamento com folga;

Se, $x = \ln (R / S) = 0$, $R / S = 1$, $R = S$, dimensionamento sem folga (no limite);

Se, $x = \ln (R / S) < 0$, $0 < R / S < 1$, $R < S$, situação de colapso.

Índice de segurança (β), no diagrama onde $x = \ln (R / S)$, é o número de desvios padrão entre a média e o início do colapso.

A área hachurada representa a probabilidade de violação do estado limite. Assim, quanto maior o índice de segurança β , menor a probabilidade de violação do estado limite.

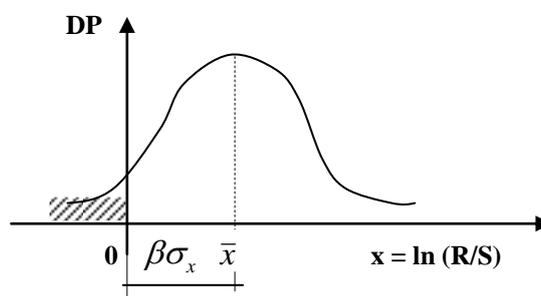


Figura 9: O índice de segurança β na distribuição normal

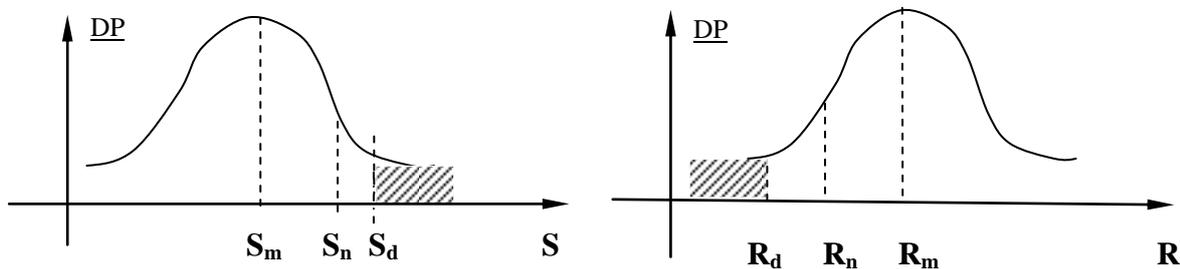
Exercícios:

Ex 1: O que são e como são obtidos os valores **nominais das ações?**

Ex 2: O que são e como são obtidos os valores nominais das propriedades mecânicas dos materiais?

Ex 3: Como se obtém e porque é necessário determinar os valores das ações e resistências de cálculo?

Ex 4: Dar os significados dos valores S_m , S_n , S_d , R_d , R_n , R_m e das áreas hachuradas abaixo.



Ex 5: Definir os três métodos de dimensionamento.

Ex 6: Por quê o método de dimensionamento dos estados limites é o mais correto?

Ex 7: Definir índice de segurança e elaborar um gráfico ilustrativo.

Ex 8: Comentar os gráficos abaixo:

