Introdução da Segurança no Projeto Estrutural

1 Introdução

2 O Método das Tensões Admissíveis

3 Crítica ao Método das Tensões Admissíveis

4 O Método dos Estados Limites

Introdução da Segurança no Projeto Estrutural

Introdução

- Aspectos Fundamentais no projeto de uma estrutura
  - Segurança
  - Economia

- **Segurança de uma estrutura** é a capacidade que ela apresenta de suportar, durante toda a sua vida útil, as diversas ações para as quais ela foi projetada, mantendo as condições funcionais a que se destina - **Conceito Qualitativo**

- **Necessidade de definir métodos** que conduzam à construção de estruturas que apresentem segurança Conceito quantitativo

Introdução da Segurança no Projeto Estrutural

Introdução: Método Intuitivo e a Catedral Inacabada

Historicamente, o primeiro método a ser seguido foi o que poderia ser denominado Método Intuitivo, em que a segurança era obtida através de concepções baseadas na intuição dos projetistas e construtores, intuição essa que poderia ser pura, ou, mais comumente, condicionada por sucessos e insucessos de construções similares anteriormente feitas, inclusive de modelos.

A aplicação desse método primitivo, que de um modo geral acabava, nem sempre tranquilamente, por conduzir a estruturas que hoje seriam consideradas anti-econômicas, era obrigatória em face do quase completo desconhecimento das teorias quantitativas do comportamento estrutural.

Introdução da Segurança no Projeto Estrutural

Introdução: *Cathédrale Saint-Pierre de Beauvais ou Catedral Inacabada*

Construção 1225-1573
Localizada 60 km ao norte de Paris
Iniciada em estilo românico
Continuada em estilo gótico
Inacabada

O Coro

Introdução da Segurança no Projeto Estrutural

Introdução: *Cathédrale Saint-Pierre de Beauvais ou Catedral Inacabada*

O trabalho foi iniciado em 1225 imediatamente após o terceiro e uma série de incêndios na antiga basílica de madeira coberta

O coro foi concluído em 1272, em duas campanhas, com um intervalo (1232-1238)

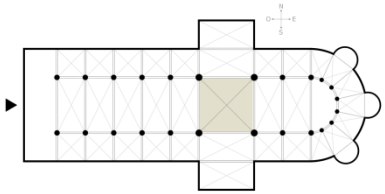
O trabalho foi interrompido em 1284 com o colapso de algumas das abóbadas do coro

A reconstrução do coro, no estilo gótico e considerado modelo de perfeição com vitrais de 18 m de altura, se deu entre 1322 e 1337

Guerra dos Cem Anos (1337 a 1453) praticamente interrompe a construção

O cruzeiro foi construído de 1500 a 1548

Em 1573, com a queda de uma torre de 153 metros, parou de funcionar novamente, após a qual ainda pouco foi feito.



Fonte: Wikipedia

Mais informações: http://www.lmc.ep.usp.br/people/hlinde/Estruturas/catedral%20de%20beauvais.htm

Introdução da Segurança no Projeto Estrutural

Introdução

- Desde sec. XVIII ocorre grande desenvolvimento da Mecânica das Estruturas

- Teorias quantitativas reproduzem, por ensaios matemáticos (analíticos, numéricos ou gráficos) e físicos (experimentais), cada vez com mais precisão, os diversos comportamentos estruturais:

  - **na determinação dos campos de tensões, deformações e de deslocamentos produzidos por dado carregamento;**

  - **na definição do comportamento reológico dos materiais;**

  - **na definição de critérios de resistência.**

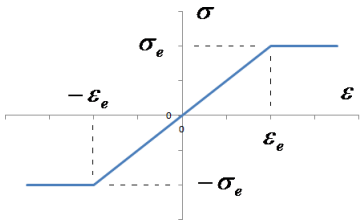
Com esse arcabouço quantitativo, coloca-se o problema:

Estabelecer uma medida de segurança, ou seja, quantificar sua segurança

Introdução da Segurança no Projeto Estrutural

Introdução: Análise de barras em regime elastoplástico perfeito

- as seções planas originalmente perpendiculares ao eixo da barra permanecem planas e perpendiculares ao eixo da barra após a deformação (hipótese de Bernoulli-Euler-Navier);
- não ocorre deformação no plano da seção transversal;
- consideram-se pequenas deformações e pequenos deslocamentos;
- a seção transversal da barra tem um plano de simetria;
- o carregamento externo atua no plano de simetria;

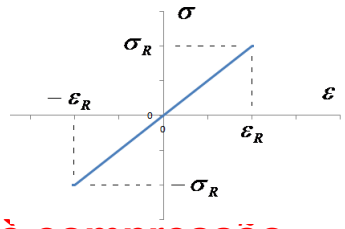


- material elastoplástico perfeito igualmente resistente à tração e compressão;
- critério da máxima tensão de cisalhamento ou critério de Tresca.

Introdução da Segurança no Projeto Estrutural

Introdução: Análise de barras em regime elastofrágil linear

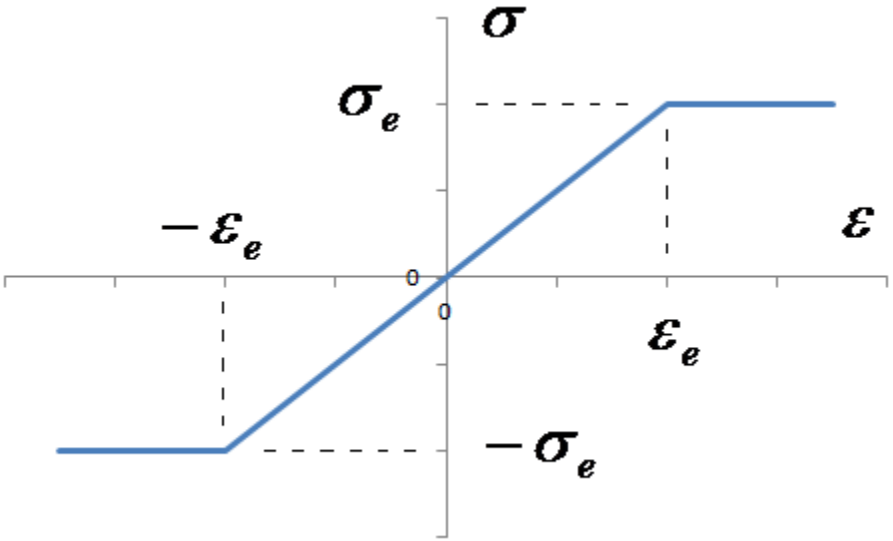
- as seções planas originalmente perpendiculares ao eixo da barra permanecem planas e perpendiculares ao eixo da barra após a deformação (hipótese de Bernoulli-Euler-Navier);
- não ocorre deformação no plano da seção transversal;
- consideram-se pequenas deformações e pequenos deslocamentos;
- a seção transversal da barra tem um plano de simetria;
- o carregamento externo atua no plano de simetria;

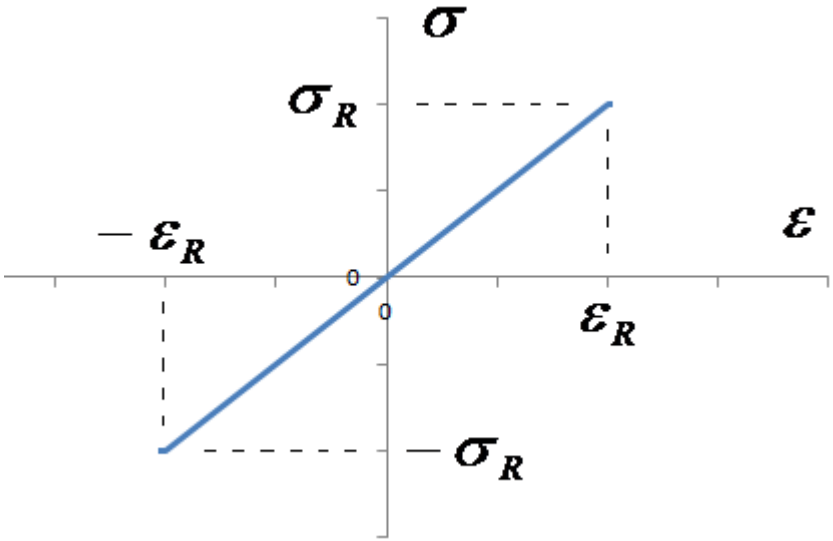


- **material elastofrágil linear igualmente resistente à tração e à compressão;**
- **critério da máxima tensão normal ou critério de Rankine.**

Introdução da Segurança no Projeto Estrutural

Introdução: Comportamentos reológicos





Materiais elastoplástico perfeito

Material dúctil

Materiais elastofrágil linear

Material frágil

Introdução da Segurança no Projeto Estrutural

Introdução: Critérios de Resistência

- Um critério de resistência é uma relação matemática entre as componentes do estado de tensão em um ponto, que deve ser satisfeita para que se considere no ponto o limite de resistência. Ele é denominado:
    - critério de plastificação para material dúctil;
    - critério de ruptura para material frágil.

Introdução da Segurança no Projeto Estrutural

Introdução:

Critério de Plastificação
da máxima tensão de cisalhamento ou de Tresca (1868)

O comportamento plástico começa quando a tensão de cisalhamento máxima atinge um valor crítico

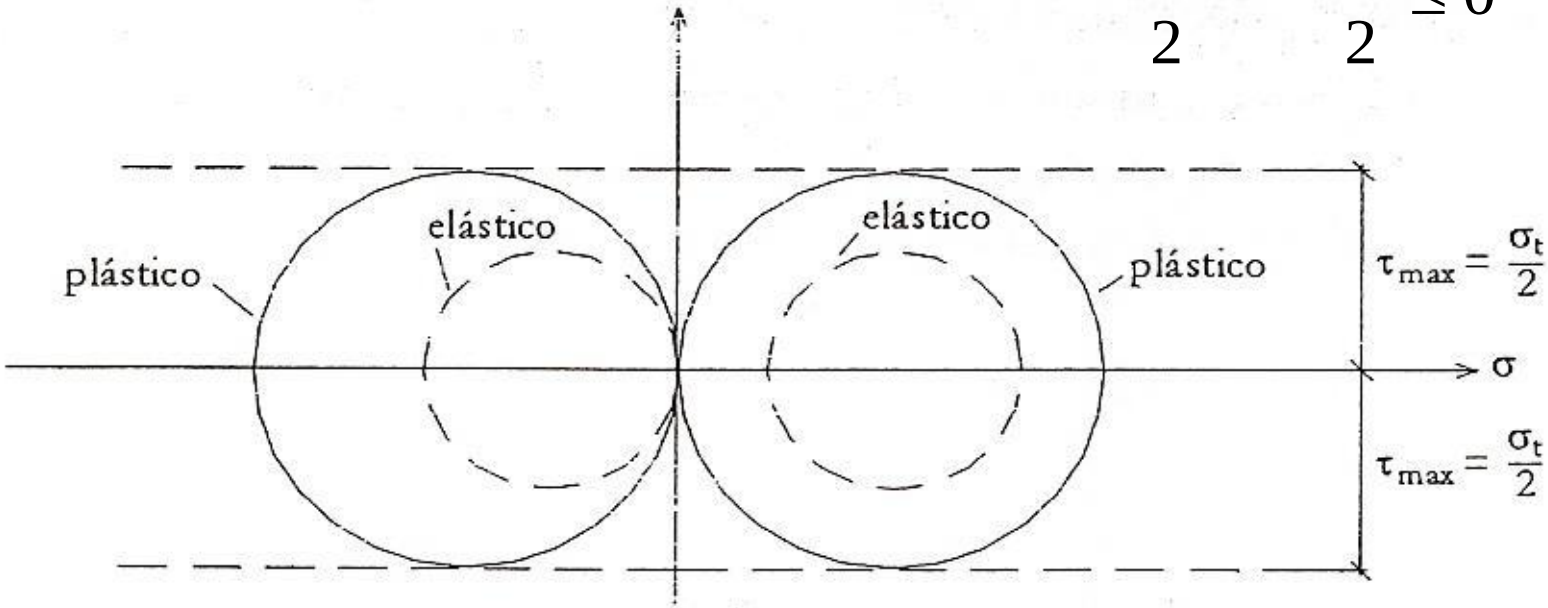
Critério adequado para material dúctil

Crítica: resistência ilimitada ao confinamento

$$\tau_{\max} - \frac{\sigma_t}{2} \leq 0$$

ou

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} - \frac{\sigma_t}{2} \leq 0$$

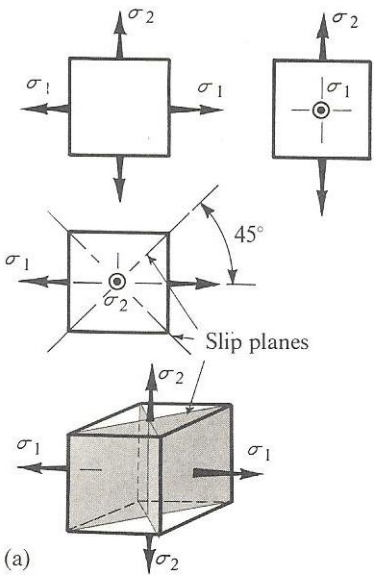


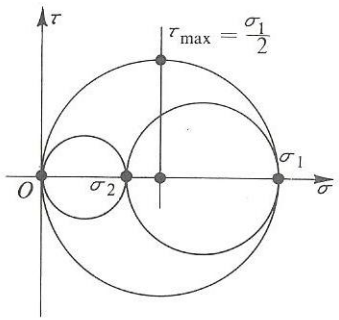
Introdução da Segurança no Projeto Estrutural

Introdução:

Critério de Plastificação
da Máxima tensão de cisalhamento ou de Tresca
em estado plano de tensão

Planes of τ_{max} for isotropic material.

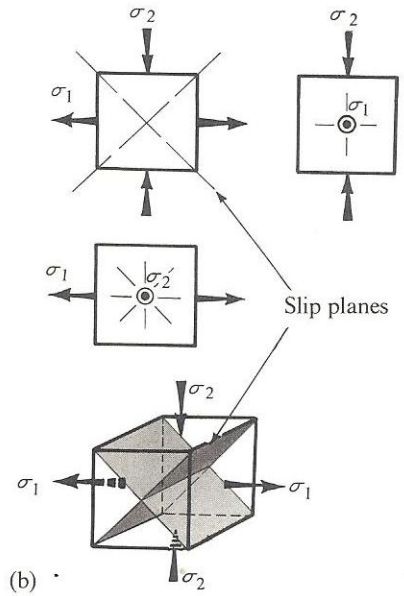


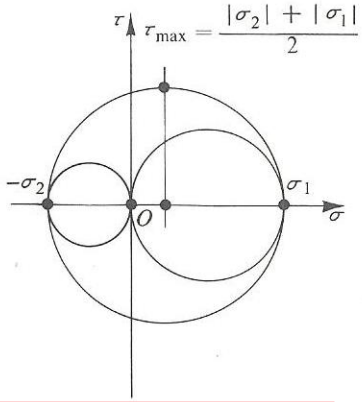


$$\tau_{max} - \frac{\sigma_t}{2} \leq 0$$

ou

$$\frac{\sigma_1 - 0}{2} - \frac{\sigma_t}{2} \leq 0$$





$$\tau_{max} - \frac{\sigma_t}{2} \leq 0$$

ou

$$\frac{|\sigma_1| + |\sigma_2|}{2} - \frac{\sigma_t}{2} \leq 0$$

Fonte: Introduction to mechanics of solids
E. P. Popov

Introdução da Segurança no Projeto Estrutural

Introdução:

Critério de Ruptura
da Máxima tensão normal ou de Rankine

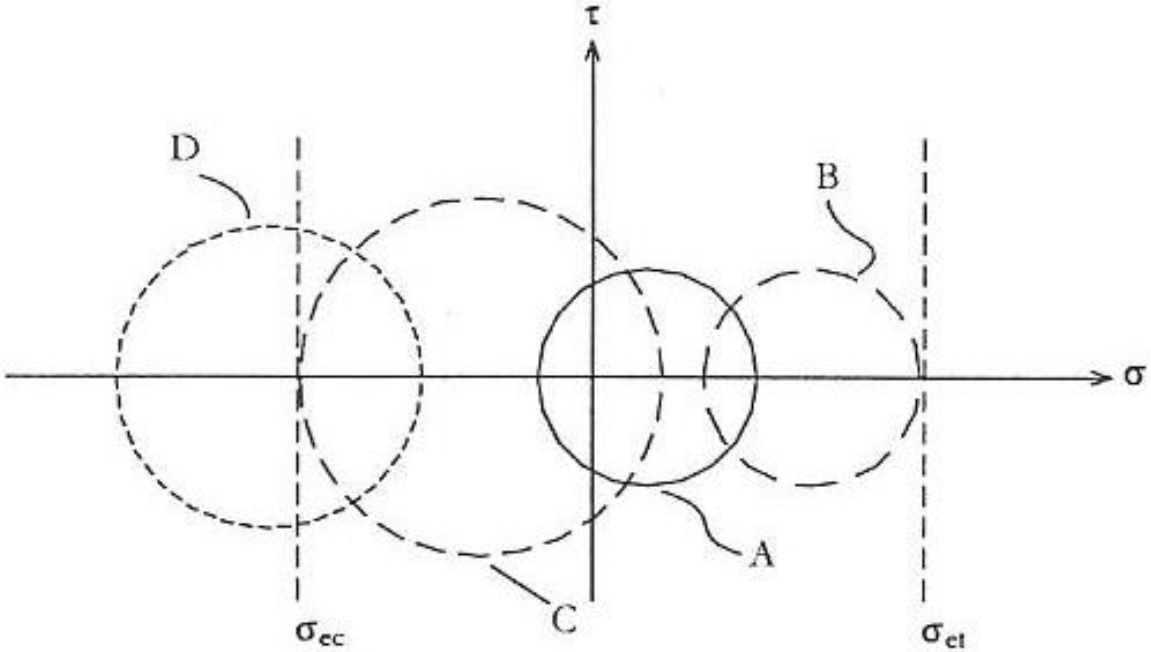
A ruptura no ponto ocorre quando a máxima tensão normal atinge um valor crítico

$$\sigma_1 - \sigma_{et} \leq 0$$

$$\sigma_{ec} - \sigma_3 \leq 0$$

Critério adequado para material frágil

Crítica: não é adequado para materiais confinados



Introdução da Segurança no Projeto Estrutural

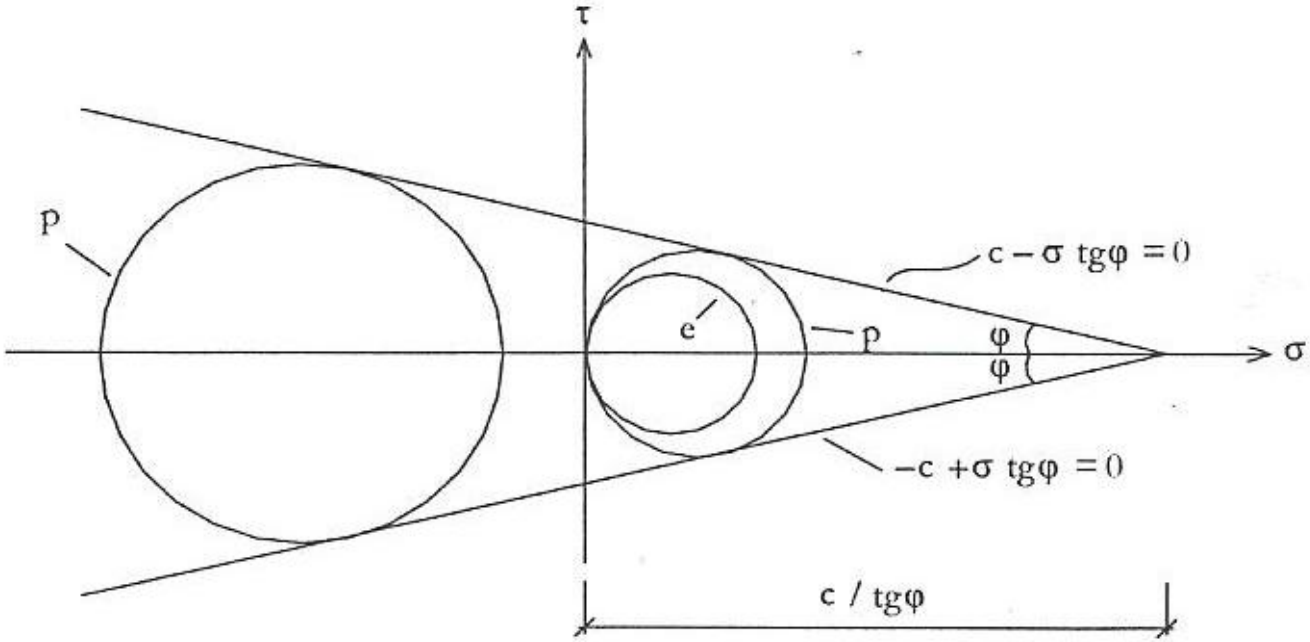
Introdução: **Critério de Mohr-Coulomb ou do Atrito Interno**

A tensão de cisalhamento não deve ultrapassar um valor crítico R

Critério adequado para material pulverulento

$$\tau - R \leq 0$$

$$R = c - \sigma \times \tan\varphi$$



Introdução da Segurança no Projeto Estrutural

Método das tensões admissíveis

- Segurança no projeto estrutural é feita através do coeficiente de segurança interno γ_i

$$\sigma_{max} = \frac{\sigma^R}{\gamma_i}$$

$$\sigma_{max} \leq \overline{\sigma}$$

com

ou

$$\sigma_{max} = \frac{\sigma^e}{\gamma_i}$$

- A determinação de γ_i é empírica

Introdução da Segurança no Projeto Estrutural

Crítica ao método das tensões admissíveis

- γ_i não é boa medida de segurança – o seu mesmo valor em estrutura de madeira e de aço tem significado distinto
- Considera apenas a condição de resistência – não há a preocupação com outras condições que possam invalidar a utilização da estrutura – p.ex. deformação exagerada
- Não estabelece, normalmente, distância entre a condição de utilização e o colapso da estrutura.
- Para medir convenientemente a distância entre a condição de utilização e a condição de colapso de uma estrutura introduz-se um coeficiente de segurança externo, γ_e pelo qual se devem multiplicar as intensidades desse carregamento para se obter um novo carregamento, proporcional ao primeiro, que produza o colapso da estrutura.

Introdução da Segurança no Projeto Estrutural

Primeiro e segundo limites de plastificação

- Em uma estrutura submetida a um conjunto de cargas proporcionais, define-se como **primeiro limite de plastificação** o escalar γ_I tal que o carregamento ponderado de γ_I conduz à plastificação de um primeiro ponto na estrutura.

- Em uma estrutura submetida a um conjunto de cargas proporcionais define-se como **segundo limite de plastificação** submetida a um conjunto de cargas proporcionais, o escalar γ_{II} tal que o carregamento ponderado de γ_{II} conduz ao colapso da estrutura.

Introdução da Segurança no Projeto Estrutural

Método dos Estados Limites

4 - O MÉTODO DOS ESTADOS LIMITES

Quando uma estrutura deixa de preencher uma qualquer das finalidades de sua construção, diz-se que ela atingiu um estado limite, ou, como sinônimo, que ela atingiu a ruina.

De acordo com a conceituação de segurança introduzida, e com essa definição, pode-se dizer que segurança de uma estrutura é a capacidade que ela apresenta de suportar as diversas ações que vierem a solicitá-la durante a sua vida útil, sem atingir qualquer estado limite.

Os estados limites podem ser classificados em duas categorias:

I - Estados Limites Últimos
II - Estados Limites de Utilização

Introdução da Segurança no Projeto Estrutural

Método dos Estados Limites: Estados Limites Últimos

Os Estados Limites Últimos são aqueles correspondentes ao esgotamento da capacidade portante da estrutura, podendo ser originados, em geral, por um ou vários dos seguintes fenômenos:

Ia - perda da estabilidade do equilíbrio de uma parte ou do conjunto da estrutura, assimilada esta a um corpo rígido;

Ib - ruptura de secções críticas da estrutura;

Ic - colapso da estrutura, ou seja, transformação da estrutura original em uma estrutura parcial ou totalmente hipostática, por plastificação;

Id - perda da estabilidade do equilíbrio de uma parte ou do conjunto da estrutura, por deformação;

Introdução da Segurança no Projeto Estrutural

Método dos Estados Limites: Estados Limites Últimos

Os Estados Limites Últimos são aqueles correspondentes ao esgotamento da capacidade portante da estrutura, podendo ser originados, em geral, por um ou vários dos seguintes fenômenos:

Ia - perda da estabilidade do equilíbrio de uma parte ou do conjunto da estrutura, assimilada esta a um corpo rígido;

Ib - ruptura de secções críticas da estrutura;

Ic - colapso da estrutura, ou seja, transformação da estrutura original em uma estrutura parcial ou totalmente hipostática, por plastificação;

Id - perda da estabilidade do equilíbrio de uma parte ou do conjunto da estrutura, por deformação;

Introdução da Segurança no Projeto Estrutural

Método dos Estados Limites: Estados Limites Últimos

Ie - deterioração por efeito de fadiga;

If - deformações elásticas ou plásticas, deformação lenta e fissuração (no caso de concreto estrutural) que provoquem uma mudança de geometria que exija uma substituição da estrutura.

Um estado limite último pode também ser devido à sensibilidade da estrutura aos efeitos da repetição das ações, do fogo, de uma explosão, etc. Essas causas devem ser consideradas por ocasião da concepção da estrutura.

Introdução da Segurança no Projeto Estrutural

Método dos Estados Limites: Estados Limites de Utilização

Os Estados Limites de Utilização são aqueles correspondentes a exigências funcionais e de durabilidade da estrutura, podendo ser originados, em geral, por um ou vários dos seguintes fenômenos:

IIa - deformações excessivas para uma utilização normal da estrutura;

IIb - fissuração prematura ou excessiva;

IIc - danos indesejáveis (corrosão);

IId - deslocamentos excessivos sem perda do equilíbrio;

IIe - vibrações excessivas.

Introdução da Segurança no Projeto Estrutural

Método dos Estados Limites

A introdução da segurança no caso dos estados limites de utilização recai em uma simples verificação do comportamento da estrutura, sujeita às ações correspondentes à sua utilização, comparando-o com o comportamento desejável para as condições funcionais e de durabilidade especificadas.

O Método dos Estados Limites introduz a segurança estrutural através dessas verificações relativamente aos estados limites de utilização e, através de coeficientes de segurança externos γ_e, relativamente aos estados limites últimos.

A definição dos valores dos coeficientes de segurança externos, dentro do Método dos Estados Limites, em sua concepção clássica, é empírica, valendo para eles o mesmo que já foi dito relativamente aos valores utilizados para os coeficientes de segurança internos no Método das Tensões Admissíveis.

Introdução da Segurança no Projeto Estrutural

Método dos Estados Limites: Estados Limites Últimos

DÉCIO DE ZAGOTTIS

SÃO PAULO - 1975

PONTES E GRANDES ESTRUTURAS
VOLUME IV

INTRODUÇÃO
DA
SEGURANÇA NO PROJETO ESTRUTURAL

INDICE DE ASSUNTOS

1 - Introdução

2 - O Método das Tensões Admissíveis

3 - Crítica do Método das Tensões Admissíveis

4 - O Método dos Estados Limites

5 - Introdução dos Métodos Probabilísticos

6 - Fatores que Influenciam a Segurança

7 - O Método Probabilístico Puro

8 - O Método Probabilístico Condicionado

9 - O Método Semi-Probabilístico

10 - Bibliografia

11 - Anexo: Tabela da Distribuição Normal