
CAPÍTULO 2 – Volume 1

FUNDAMENTOS DE SEGURANÇA DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

2.1- Estados limites

Requisitos de qualidade de uma estrutura:

- Segurança
- Bom desempenho em serviço
- Durabilidade

Estados limites últimos (ou de ruína): são relacionados ao colapso, ou a qualquer outra forma de ruína estrutural, que determine a paralisação, no todo ou em parte, do uso da estrutura.

Estados limites de utilização (ou de serviço): correspondem aos estados em que a utilização da estrutura torna-se prejudicada, por apresentar deformações excessivas (incluindo vibrações indesejáveis), ou por um nível de fissuração que compromete a sua durabilidade.

Para concreto armado consideramos o estado limite de deformações excessivas e o estado limite de abertura das fissuras.

Estados limites últimos em estruturas de concreto armado

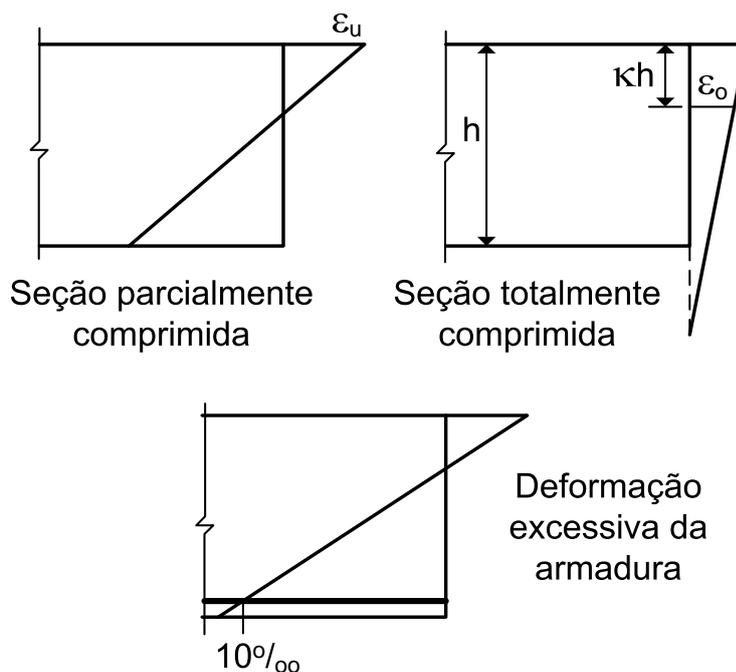


Fig. 2.1.1 - Situações de ruptura de uma seção de concreto armado (flexão)

Prof. José Milton de Araújo - FURG

3

Valores de ε_o e ε_u

| f_{ck} (MPa) | ≤ 50 | 55 | 60 | 70 | 80 | 90 |
|-------------------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|
| ε_o ‰ | 2,0 | 2,2 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 2,6 |
| ε_u ‰ | 3,5 | 3,1 | 2,9 | 2,7 | 2,6 | 2,6 |

Se $f_{ck} \leq 50$ MPa: $\varepsilon_o = 2$ ‰; $\varepsilon_u = 3,5$ ‰; $\kappa h = 3h/7$.

Equações (EC2 e NBR-6118):

$$\varepsilon_o (\text{‰}) = 2,0, \text{ se } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_o (\text{‰}) = 2,0 + 0,085(f_{ck} - 50)^{0,53}, \text{ se } f_{ck} > 50 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_u (\text{‰}) = 3,5, \text{ se } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_u (\text{‰}) = 2,6 + 35 \left(\frac{90 - f_{ck}}{100} \right)^4, \text{ se } f_{ck} > 50 \text{ MPa}$$

Prof. José Milton de Araújo - FURG

4

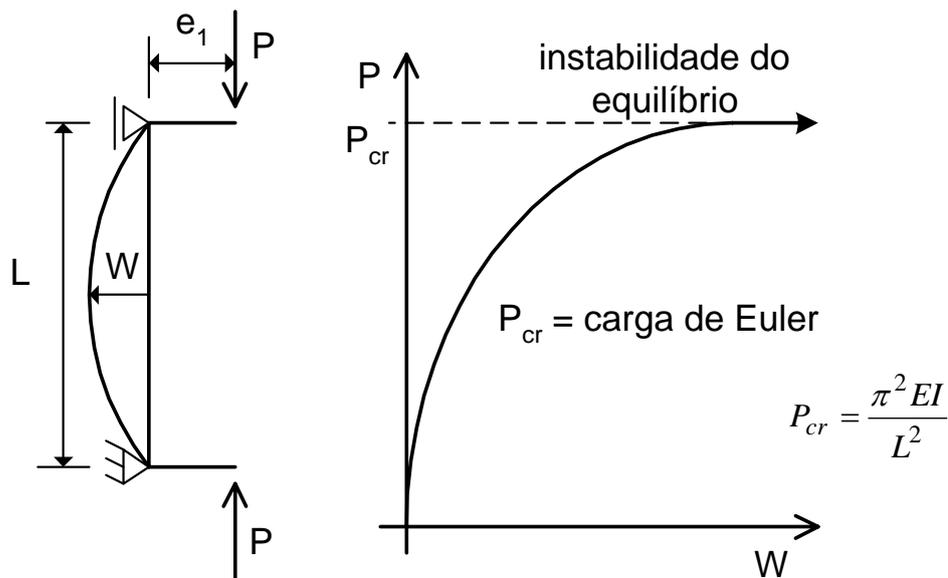


Fig. 2.1.2 - Instabilidade do equilíbrio

2.2 - As ações nas estruturas

- Ações diretas: as forças
- Ações indiretas: as deformações impostas

a) Ações permanentes: ocorrem com valores constantes ou de pequena variabilidade, durante praticamente toda a vida útil da construção.

Ações permanentes diretas: peso próprio da estrutura, alvenarias, revestimentos, peso de equipamentos fixos, etc.

Ações permanentes indiretas: recalques de apoio, retração e fluência do concreto, protensão, imperfeições geométricas de pilares.

b) Ações variáveis: ocorrem com valores que sofrem significativas variações durante a vida da construção.

Exemplos: cargas acidentais (peso das pessoas, móveis, veículos, etc.), forças de frenação, de impacto e centrífugas, efeitos do vento e das variações de temperatura, pressões hidrostáticas e hidrodinâmicas.

c) Ações excepcionais: possuem uma duração muito curta e uma probabilidade de ocorrência muito pequena durante a vida da construção (explosões, choques de veículos, incêndios, enchentes, sismos).

Valores característicos das ações (F_k): são definidos em função de suas variabilidades.

Exemplos:

Cargas acidentais de edifícios: valores característicos fornecidos na NBR-6120.

Ação do vento: valores fornecidos na NBR-6123.

Peso específico dos materiais de construção: valores médios fornecidos na NBR-6120.

Valores reduzidos de combinação ($\psi_o F_k$, onde $\psi_o < 1$): levam em conta a pequena probabilidade de ocorrência simultânea dos valores característicos de ações variáveis de origens diferentes. Os coeficientes ψ_o são dados na NBR-6118.

Tabela 2.3.1 - Fatores de combinação no estado limite último

| Ações Variáveis | ψ_o |
|---|----------|
| Variações uniformes de temperatura | 0,6 |
| Pressão dinâmica do vento | 0,6 |
| Cargas acidentais dos edifícios quando não há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas (edifícios residenciais) | 0,5 |
| Cargas acidentais dos edifícios, nos casos contrários (edifícios comerciais e de escritórios) | 0,7 |
| Cargas acidentais em bibliotecas, arquivos, oficinas e garagens | 0,8 |

2.3 - Ações de cálculo e combinações de ações

| | | | |
|----------------------|-----------------|----------------------|----------------------|
| Ação de cálculo | Ação permanente | Ação variável direta | Deformação imposta |
| $F_d = \gamma_f F_k$ | γ_g | γ_q | γ_ε |

Os coeficientes parciais de segurança γ_g , γ_q e γ_ε são dados na NBR-6118.

Tabela 2.3.2 - Coeficientes parciais para as ações permanentes

| Carregamentos | Para efeitos desfavoráveis | Para efeitos favoráveis |
|----------------------------|----------------------------|-------------------------|
| Normais | $\gamma_g = 1,4$ | $\gamma_g = 1,0$ |
| Especiais ou de construção | $\gamma_g = 1,3$ | $\gamma_g = 1,0$ |
| Excepcionais | $\gamma_g = 1,2$ | $\gamma_g = 1,0$ |

Tabela 2.3.3 - Coeficientes parciais para os efeitos de recalques de apoio e de retração

| Carregamentos | Para efeitos desfavoráveis | Para efeitos favoráveis |
|----------------------------|----------------------------|--------------------------|
| Normais | $\gamma_\varepsilon = 1,2$ | $\gamma_\varepsilon = 0$ |
| Especiais ou de construção | $\gamma_\varepsilon = 1,2$ | $\gamma_\varepsilon = 0$ |
| Excepcionais | $\gamma_\varepsilon = 0$ | $\gamma_\varepsilon = 0$ |

Tabela 2.3.4 - Coeficientes parciais para as ações variáveis

| Carregamentos | Ações variáveis em geral, incluídas as cargas acidentais móveis | Ação variável temporária (variação de temperatura) |
|----------------------------|---|--|
| Normais | $\gamma_q = 1,4$ | $\gamma_\varepsilon = 1,2$ |
| Especiais ou de construção | $\gamma_q = 1,2$ | $\gamma_\varepsilon = 1,0$ |
| Excepcionais | $\gamma_q = 1,0$ | $\gamma_\varepsilon = 0$ |

Carregamento normal: é o carregamento decorrente do uso previsto para a construção, admitindo-se que ele possa ter uma duração igual à vida útil da estrutura.

Combinação normal das ações:

$$F_d = \sum_{j=1}^m \gamma_{g,j} F_{gk,j} + \gamma_{q,1} F_{qk,1} + \sum_{i=2}^n \gamma_{q,i} \psi_{oi} F_{qk,i}$$

ações permanentes características: $F_{gk,j}$

ação variável principal característica: $F_{qk,1}$

valores reduzidos de combinação das demais ações: $\psi_{oi} F_{qk,i}$.

Exemplo: edifícios residenciais, submetidos às seguintes ações características:

Ações permanentes:

F_{gk} = cargas permanentes; $F_{\varepsilon gk}$ = retração.

Ações variáveis:

$F_{qk,1}$ = carga acidental; $F_{qk,2}$ = vento; $F_{\varepsilon qk}$ = variação de temperatura.

Neste caso, devem ser verificadas pelo menos as duas combinações últimas normais indicadas a seguir:

- **Combinação 1:** a carga acidental é a ação variável principal

$$F_d = (1,4F_{gk} + 1,2F_{\varepsilon gk}) + 1,4F_{qk,1} + (1,4 \times 0,6F_{qk,2} + 1,2 \times 0,6F_{\varepsilon qk})$$

- **Combinação 2:** o vento é a ação variável principal

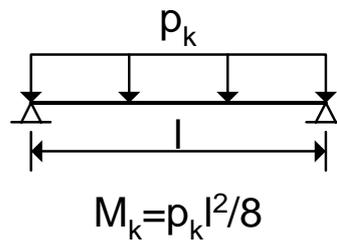
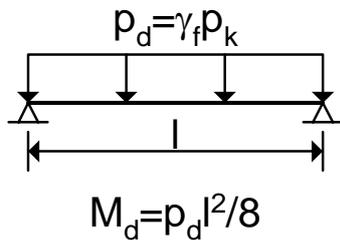
$$F_d = (1,4F_{gk} + 1,2F_{\varepsilon gk}) + 1,4F_{qk,2} + (1,4 \times 0,5F_{qk,1} + 1,2 \times 0,6F_{\varepsilon qk})$$

Quando só consideramos as cargas permanentes e as cargas acidentais:

$$F_d = 1,4F_{gk} + 1,4F_{qk}; F_d = \gamma_f F_k, \text{ onde } F_k = F_{gk} + F_{qk} \text{ e } \gamma_f = 1,4$$

Os coeficientes parciais devem ponderar as ações características.

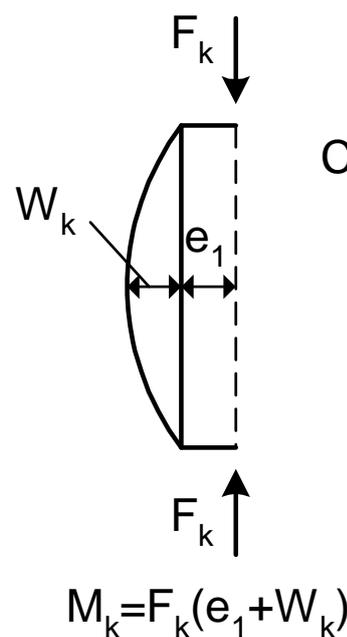
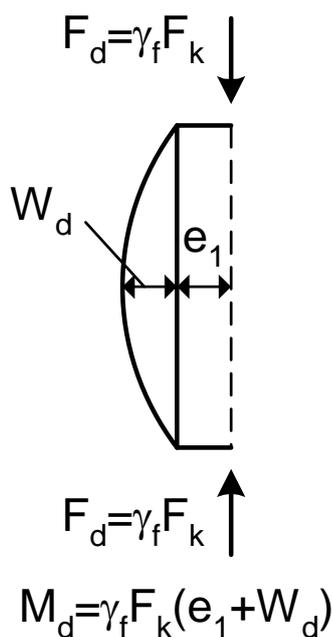
- **Análise linear**



Conclusão:

$$M_d = \gamma_f M_k$$

- **Análise não-linear**



Conclusão:

$$M_d > \gamma_f M_k$$

Procedimento usual:

Para vigas e lajes: trabalhamos com as cargas de serviço, para obter os esforços solicitantes de serviço; em seguida, introduzimos o coeficiente γ_f para obter os esforços solicitantes de cálculo.

Para pilares: devemos trabalhar com as cargas de cálculo e obter os esforços finais de cálculo.

2.4 - Resistências de cálculo

Concreto: $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$, onde $\gamma_c = 1,4$ nos casos correntes.

Para levar em conta o efeito Rüsck: $\sigma_{cd} = \alpha_c f_{cd}$

$\alpha_c = 0,85$, se $f_{ck} \leq 50$ MPa

$\alpha_c = 0,85 \left[1 - \frac{(f_{ck} - 50)}{200} \right]$, se $f_{ck} > 50$ MPa

Se a largura da seção não diminuir em direção à borda comprimida (seções retangulares e T)

Se a largura da seção diminuir (ex. seção circular), multiplicar α_c por 0,9.

Aço: $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$, onde $\gamma_s = 1,15$ nos casos usuais.