
CAPÍTULO 2 – Volume 1

FUNDAMENTOS DE SEGURANÇA DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Prof. José Milton de Araújo - FURG

1

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.

Prof. José Milton de Araújo - FURG

2

Estados limites últimos em estruturas de concreto armado

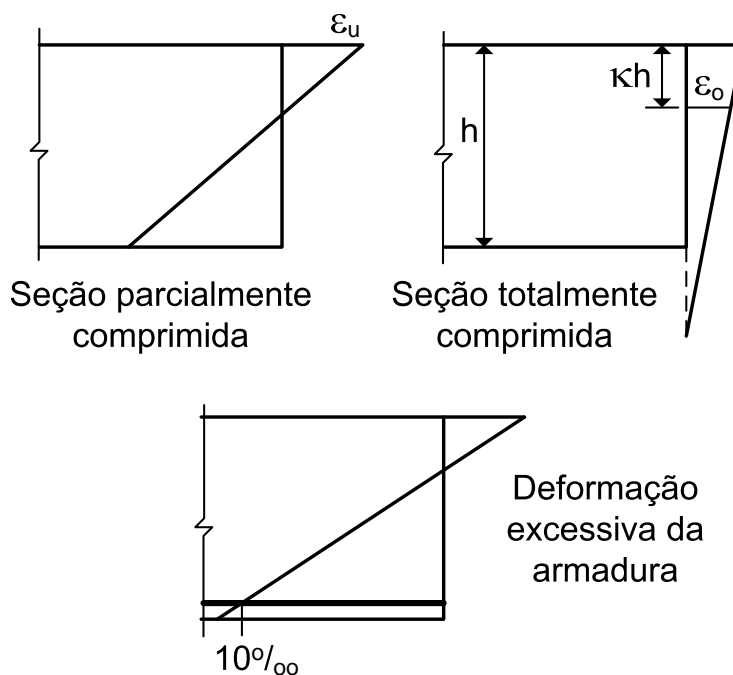


Fig. 2.1.1 - Situações de ruptura de uma seção de concreto armado (flexão)

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: $\varepsilon_o = 2\text{‰}$; $\varepsilon_u = 3,5\text{‰}$; $\kappa h = 3h/7$.

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

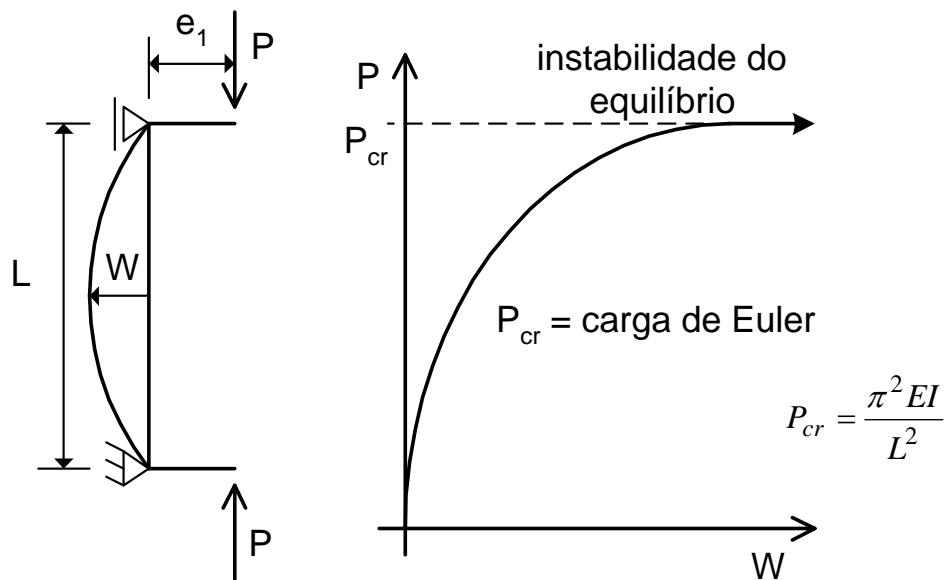


Fig. 2.1.2 - Instabilidade do equilíbrio

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

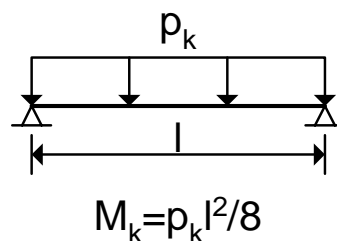
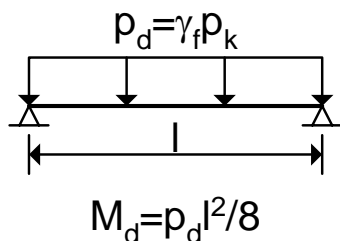
$$F_d = (1,4F_{gk} + 1,2F_{\varepsilon gk}) + 1,4F_{qk,2} + (1,4 \times 0,5F_{qk,1} + 1,2 \times 0,6F_{\varepsilon qk})$$

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.

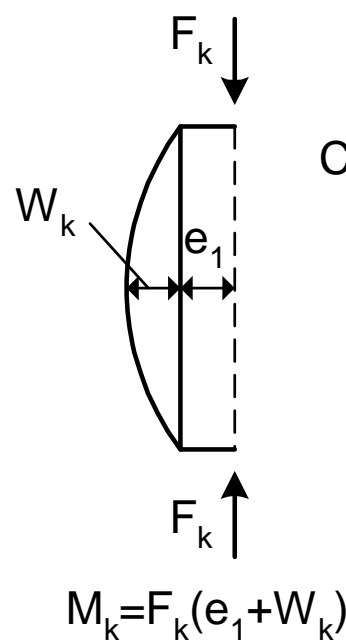
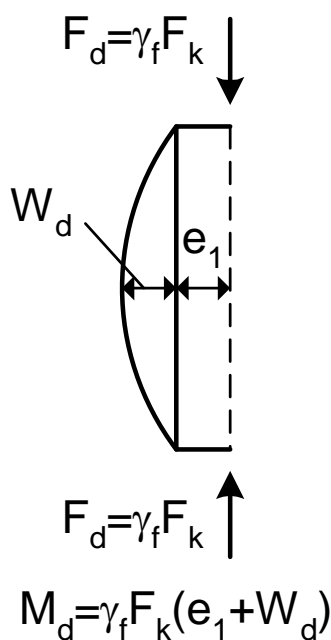
- **Análise linear**



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.