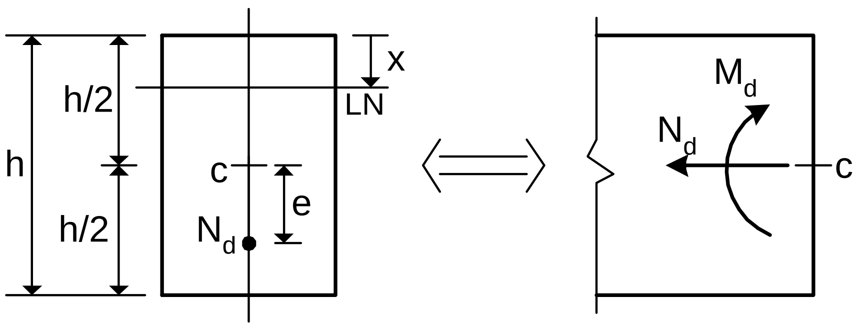
Volume 4 – Capítulo 2

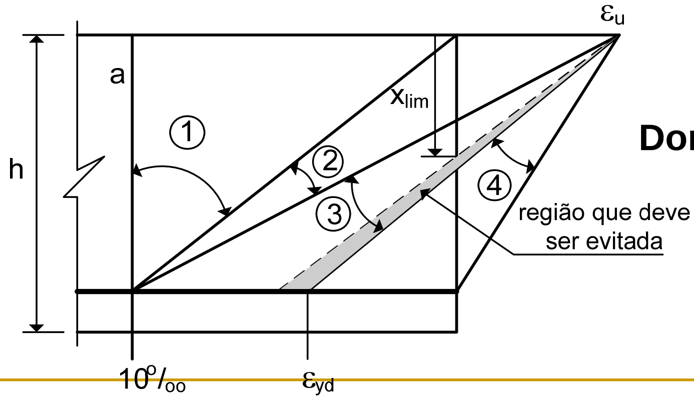
DIMENSIONAMENTO À FLEXO-TRAÇÃO NORMAL

2.1- APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA



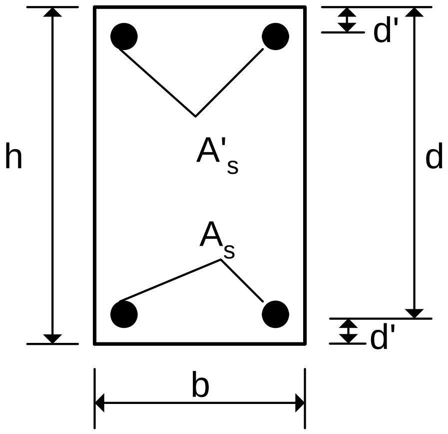
N_d = esforço normal de tração

$M_d = N_d\, e$ = momento fletor



Domínios de dimensionamento

2.2- ROTEIRO PARA DIMENSIONAMENTO COM ARMADURAS ASSIMÉTRICAS



Dados do problema:

a) dimensões da seção transversal:
$b\,,\quad h\,,\quad d\,,\quad d'\,;$

b) propriedades dos materiais: $f_{ck}\ ,\ f_{yk}\,;$

c) esforços solicitantes de serviço: $M_k\ ,\ N_k\,.$

Valores requeridos: A_s e A'_s.

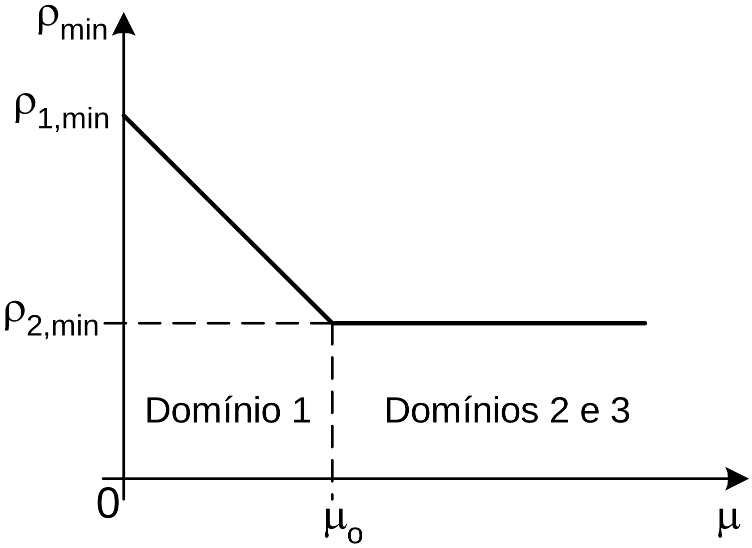
$f_{cd} = f_{ck}/1{,}4$	$\sigma_{cd} = \alpha_c f_{cd}$	$f_{yd} = f_{yk}/1{,}15$
$f_{ck} \le 50$ MPa	$\alpha_c = 0{,}85$	$\lambda = 0{,}8$
$f_{ck} > 50$ MPa	$\alpha_c = 0{,}85\left[1 - \dfrac{(f_{ck}-50)}{200}\right]$	$\lambda = 0{,}8 - \dfrac{(f_{ck}-50)}{400}$
$N_d = 1{,}4 N_k$	$M_d = 1{,}4 M_k$	$\delta = \dfrac{d'}{d}$
$\nu = \dfrac{N_d}{b d \sigma_{cd}}$	$\mu = \dfrac{M_d}{b d^2 \sigma_{cd}}$	

Solução no domínio 1: Se $\mu \le 0{,}5(1-\delta)\nu \quad \Downarrow$	
$\omega' = \dfrac{0{,}5(1-\delta)\nu - \mu}{(1-\delta)}$	$\omega = \dfrac{0{,}5(1-\delta)\nu + \mu}{(1-\delta)}$

Solução nos domínios 2 e 3: $\mu > 0{,}5(1-\delta)\nu$	
$\mu_{sd} = \mu - 0{,}5(1-\delta)\nu$	
μ_{lim} (dado na tabela 2.4.1)	σ'_{sd} (tabela 2.4.2)
Armadura simples: Se $\mu_{sd} \le \mu_{lim} \Rightarrow$	$\xi = \dfrac{1-\sqrt{1-2\mu_{sd}}}{\lambda}$ $\omega = \lambda\xi + \nu \quad ; \quad \omega' = 0$
Armadura dupla: Se $\mu_{sd} > \mu_{lim} \Rightarrow$	$\omega' = \dfrac{(\mu_{sd} - \mu_{lim}) f_{yd}}{(1-\delta)\sigma'_{sd}}$ $\omega = \lambda\xi_{lim} + \dfrac{\mu_{sd} - \mu_{lim}}{1-\delta} + \nu$
$A_s = \omega b d \dfrac{\sigma_{cd}}{f_{yd}}$	$A'_s = \omega' b d \dfrac{\sigma_{cd}}{f_{yd}}$

Armaduras mínimas	
Em tração simples:	$A_s + A'_s \ge \rho_{1,min} A_c$
Nos domínios 2 e 3:	$A_s \ge \rho_{2,min} A_c$
$f_{ck} \le 50\,\text{MPa}$	$\rho_{1,min} = \dfrac{0{,}39 f_{ck}^{2/3}}{f_{yd}}$ $\rho_{2,min} = \dfrac{0{,}078 f_{ck}^{2/3}}{f_{yd}} \ge 0{,}15\%$
$f_{ck} > 50\,\text{MPa}$	$\rho_{1,min} = \dfrac{2{,}756 \ln(1 + 0{,}11 f_{ck})}{f_{yd}}$ $\rho_{2,min} = \dfrac{0{,}5512 \ln(1 + 0{,}11 f_{ck})}{f_{yd}}$
com f_{ck} e f_{yd} dados em MPa.	

Interpolação linear no domínio 1



$$\mu_o = 0{,}5(1-\delta)\nu$$

Tabela 2.4.1 - Valores de $\xi_{\lim}$ e $\mu_{\lim}$
(para análise linear sem redistribuição de esforços)

Grupo I	$f_{ck} \leq 35$ MPa		$35 < f_{ck} \leq 50$ MPa		
$\xi_{\lim}$	0,45		0,35		
$\mu_{\lim}$	0,2952		0,2408		
Grupo II	C55	C60	C70	C80	C90
$\xi_{\lim}$	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
$\mu_{\lim}$	0,2376	0,2344	0,2280	0,2215	0,2149

Tabela 2.4.2 - Tensão σ'_{sd} (kN/cm^2) na armadura de compressão

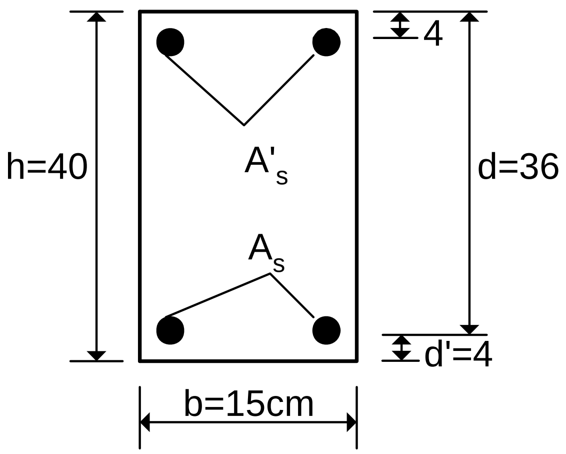
Concreto	$f_{ck} \leq 35$ MPa		$35 < f_{ck} \leq 50$ MPa	
δ	CA-50	CA-60	CA-50	CA-60
0,01	43,48	52,17	43,48	52,17
0,02	43,48	52,17	43,48	52,17
0,03	43,48	52,17	43,48	52,17
0,04	43,48	52,17	43,48	52,17
0,05	43,48	52,17	43,48	52,17
0,06	43,48	52,17	43,48	52,17
0,07	43,48	52,17	43,48	52,17
0,08	43,48	52,17	43,48	52,17
0,09	43,48	52,17	43,48	52,00
0,10	43,48	52,17	43,48	50,00

Tabela 2.4.2 - Continuação

Concreto	$f_{ck} \leq 35$ MPa		$35 < f_{ck} \leq 50$ MPa	
δ	CA-50	CA-60	CA-50	CA-60
0,11	43,48	52,17	43,48	48,00
0,12	43,48	51,33	43,48	46,00
0,13	43,48	49,78	43,48	44,00
0,14	43,48	48,22	42,00	42,00
0,15	43,48	46,67	40,00	40,00
0,16	43,48	45,11	38,00	38,00
0,17	43,48	43,56	36,00	36,00
0,18	42,00	42,00	34,00	34,00
0,19	40,44	40,44	32,00	32,00
0,20	38,89	38,89	30,00	30,00

Tabela válida para concretos do grupo I

2.3- EXEMPLO DE CÁLCULO



Concreto: $f_{ck} = 20\,\text{MPa}$

$\alpha_c = 0{,}85$; $\lambda = 0{,}8$;

$\sigma_{cd} = 1{,}21\,\text{kN/cm}^2$

Aço: CA-50

$N_d = 300\,\text{kN}$

$$\nu = \frac{N_d}{bd\sigma_{cd}} = \frac{300}{15x36x1{,}21} \Rightarrow \nu = 0{,}46$$

Exemplo 1: $M_d = 40\,\text{kNm}$

$$\mu = \frac{M_d}{bd^2\sigma_{cd}} = \frac{4000}{15x36^2x1{,}21} \Rightarrow \mu = 0{,}17$$

$$\delta = \frac{d'}{d} = \frac{4}{36} \Rightarrow \delta = 0{,}11$$

$$\mu_o = 0{,}5(1-\delta)\nu = 0{,}5(1-0{,}11)0{,}46 = 0{,}205$$

$\mu < \mu_o = 0{,}205 \longrightarrow$ Domínio 1

$$\omega' = \frac{0{,}5(1-\delta)\nu - \mu}{1-\delta} = \frac{0{,}5(1-0{,}11)0{,}46 - 0{,}17}{1-0{,}11} \longrightarrow \omega' = 0{,}039$$

$$\omega = \frac{0{,}5(1-\delta)\nu + \mu}{1-\delta} = \frac{0{,}5(1-0{,}11)0{,}46 + 0{,}17}{1-0{,}11} \longrightarrow \omega = 0{,}421$$

$$A'_s = \omega' bd\frac{\sigma_{cd}}{f_{yd}} = 0{,}039x15x36x\frac{1{,}21}{43{,}48} \Rightarrow A'_s = 0{,}59\,\text{cm}^2$$

$$A_s = \omega bd\frac{\sigma_{cd}}{f_{yd}} = 0{,}421x15x36x\frac{1{,}21}{43{,}48} \Rightarrow A_s = 6{,}33\,\text{cm}^2$$

Armadura mínima:

$$\rho_{1,\min} = \frac{0{,}39\, f_{ck}^{2/3}}{f_{yd}} = \frac{0{,}39(20)^{2/3}}{434{,}8} = 0{,}66\%$$

$$\rho_{2,\min} = \frac{0{,}078\, f_{ck}^{2/3}}{f_{yd}} = \frac{0{,}078(20)^{2/3}}{434{,}8} = 0{,}13\% \longrightarrow \rho_{2,min} = 0{,}15\%$$

Interpolando para $\mu = 0{,}17$, resulta $\rho_{\min} = 0{,}24\%$.

$$\left(A_s + A_s'\right)_{\min} = \rho_{\min} A_c = \frac{0{,}24}{100} x15x40 = 1{,}44\,\text{cm}^2.$$

$A_s + A_s' = 6{,}92\ \text{cm}^2$ é maior que $1{,}44\text{cm}^2$.

Logo, prevalecem as armaduras calculadas.

Exemplo 2: $M_d = 80\,\text{kNm}$

$\mu = 0{,}34 \quad ; \quad \mu > 0{,}5(1-\delta)\nu = 0{,}205$

$\mu_{sd} = \mu - 0{,}5(1-\delta)\nu \Rightarrow \mu_{sd} = 0{,}135$

$\mu_{sd} < \mu_{\lim} = 0{,}2952$ (armadura simples)

$$\xi = \frac{1-\sqrt{1-2\mu_{sd}}}{\lambda} \Rightarrow \xi = 0{,}18$$

$$\omega = \lambda\xi + \nu = 0{,}8x0{,}18 + 0{,}46 \Rightarrow \omega = 0{,}60$$

$$A_s = 0{,}60x15x36x\frac{1{,}21}{43{,}48} \Rightarrow A_s = 9{,}02\,\text{cm}^2$$

$$A_{s,min} = \rho_{2,min} A_c = \frac{0{,}15}{100} x15x40 = 0{,}90\,\text{cm}^2$$

Como a área calculada A_s é maior que $0{,}90\text{cm}^2$, prevalece a armadura calculada.