

FLEXÃO SIMPLES - ARMADURA LONGITUDINAL DE VIGA

5.1 Introdução

Uma viga reta, desde que não possua carregamentos horizontais ou inclinados, será solicitada por momentos fletores e forças cortantes, como mostrado na Figura 5.1.

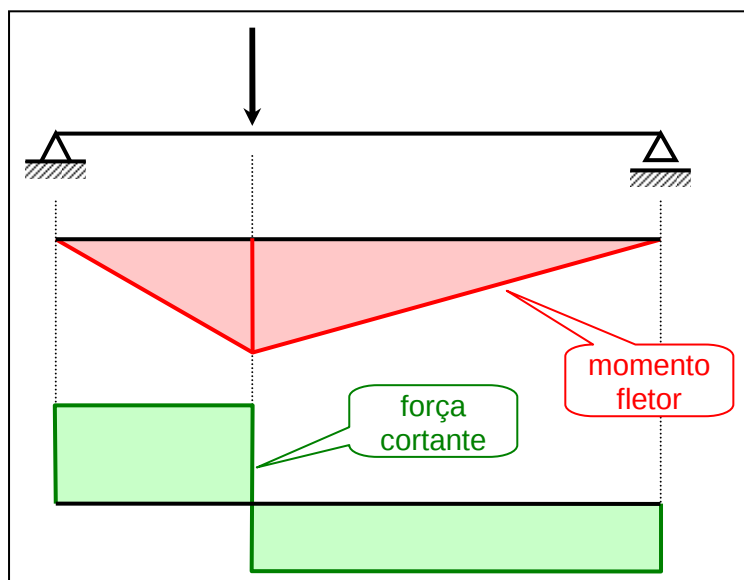


Figura 5.1 - Solicitações em viga

Nas vigas de concreto armado, os momentos fletores e as forças cortantes são responsáveis pela existência de dois tipos de armadura (Figura 5.2):

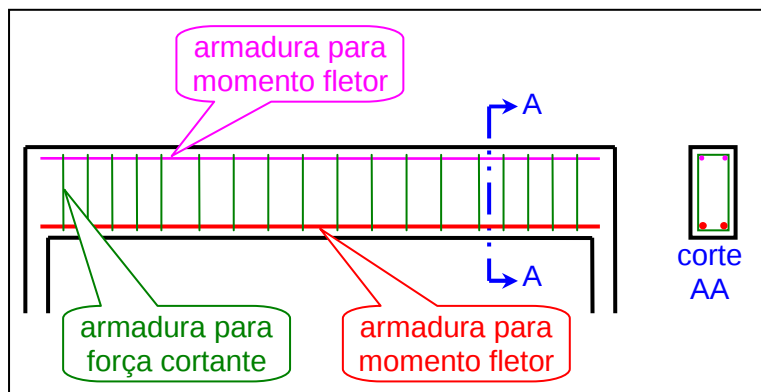


Figura 5.2 - Armaduras de viga de concreto armado

Neste capítulo só serão estudadas as armaduras longitudinais, ou seja, as armaduras necessárias para resistir aos momentos fletores.

Segundo a ABNT NBR 6118 - 18.3.1, as vigas ficam caracterizadas quando:

- $\ell/h \geq 2$ para vigas isostáticas; e
- $\ell/h \geq 3$ para vigas contínuas.

onde:

- ℓ é o comprimento do vão teórico (ou o dobro do comprimento teórico, no caso de balanço); e
- h é a altura total da viga.

Vigas com relações ℓ/h menores devem ser tratadas como vigas-parede.

5.2 Vãos efetivos de vigas

Segundo a ABNT NBR 6118 - 14.6.2.4, o vão efetivo de vigas (Figura 5.3) pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$\ell_{ef} = \ell_0 + a_1 + a_2$$

Equação 5.1

com:

$$a_1 = \min \begin{bmatrix} 0,5t_1 \\ 0,3h \end{bmatrix}$$

$$a_2 = \min \begin{bmatrix} 0,5t_2 \\ 0,3h \end{bmatrix}$$

onde:

- ℓ_{ef} vão efetivo da viga;
- ℓ_0 distância entre faces de dois apoios consecutivos;
- t largura do apoio paralelo ao vão da viga analisada; e
- h altura da viga.

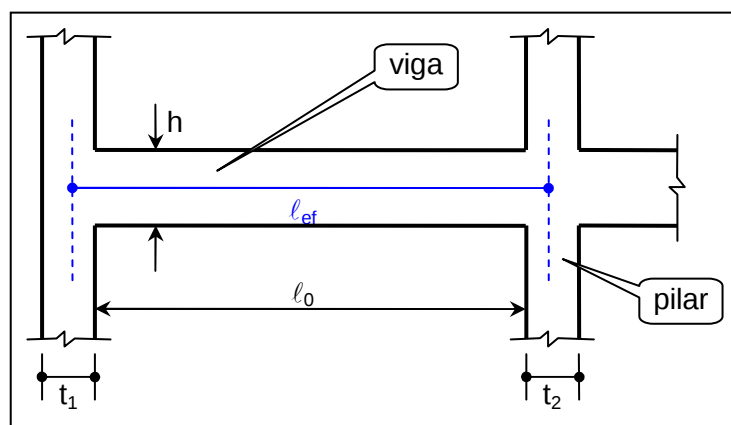


Figura 5.3 - Vão efetivo de viga

5.3 Estado-limite último¹

O dimensionamento das armaduras longitudinais deve conduzir a um esforço resistente (M_{Rd}) igual ou superior ao esforço solicitante (M_{Sd}) determinado na análise estrutural.

5.3.1 Hipóteses básicas

Na análise dos esforços resistentes de uma seção de viga, devem ser consideradas as seguintes hipóteses básicas:

- a. as seções transversais se mantêm planas após a deformação;
- b. a deformação das barras passivas aderentes, em tração ou compressão, deve ser a mesma do concreto em seu contorno;
- c. as tensões de tração no concreto, normais à seção transversal, devem ser desprezadas;
- d. a distribuição de tensões no concreto é feita de acordo com o diagrama parábola-retângulo, com definido em 1.5.8 (página 1-5), com tensão de pico igual a $0,85 f_{cd}$, com f_{cd} definido em 3.3.2.3 (página 3-27), podendo este diagrama ser substituído pelo retângulo (Figura 5.4) de profundidade $y = \lambda x$, onde o valor do parâmetro λ pode ser tomado igual a:

¹ Como apresentadas na ABNT NBR 6118 - 17.2.2.

$$\lambda = \begin{cases} 0,8 & \langle f_{ck} \leq 50\text{MPa} \rangle \\ 0,8 - \left(\frac{f_{ck} - 50}{400} \right) & \langle f_{ck} > 50\text{MPa} \rangle \end{cases}$$

Equação 5.2

e onde a tensão constante atuante até a profundidade y pode ser tomada como sendo $(\sigma_c = \alpha_c f_{cd})^1$, de tal forma que:

$$\alpha_c = \begin{cases} 0,85 & \langle f_{ck} \leq 50\text{MPa} \rangle \\ 0,85 \left(1 - \frac{f_{ck} - 50}{200} \right) & \langle f_{ck} > 50\text{MPa} \rangle \end{cases}$$

Equação 5.3

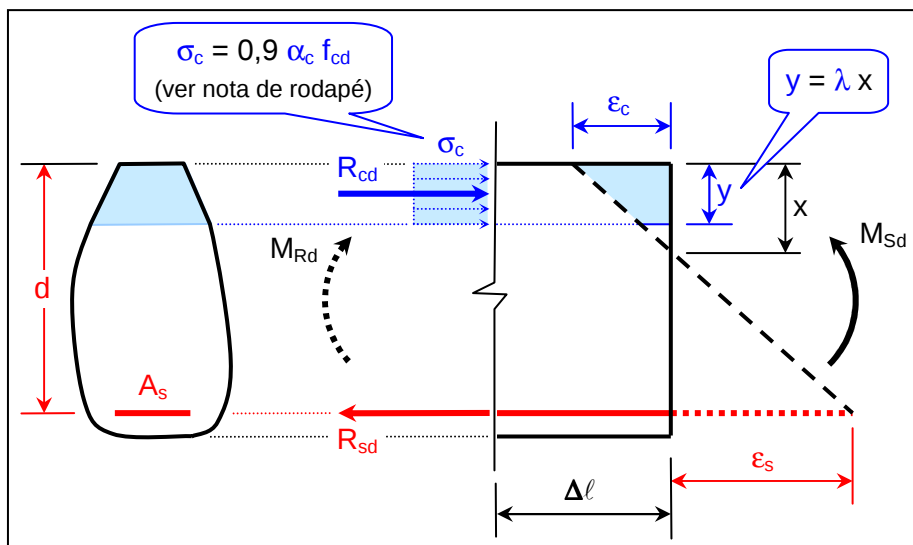


Figura 5.4 - Distribuição de tensões no concreto comprimido

- e. a tensão nas armaduras deve ser obtida a partir dos diagramas tensão-deformação, (Figura 5.5) com valores de cálculo definidos em 3.3.2.4 (página 3-29);

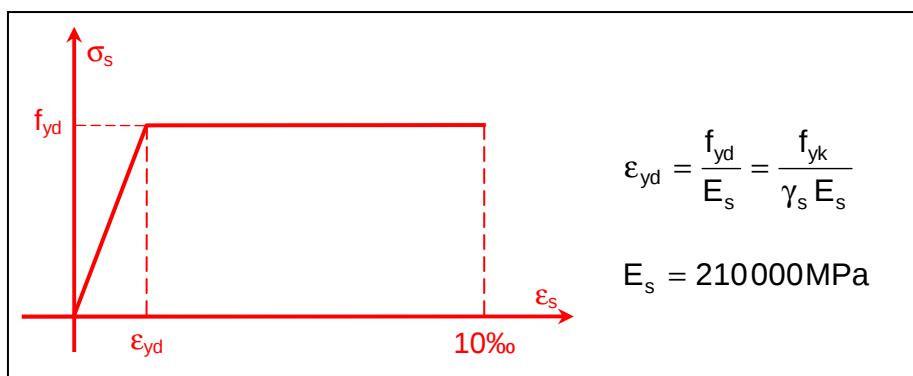


Figura 5.5 - Diagrama tensão-deformação do aço

- f. o estado-limite é caracterizado quando a distribuição das deformações na seção transversal pertencer a um dos domínios definidos na Figura 5.6.

¹ No caso da largura da seção, medida paralelamente à linha neutra, não diminuir a partir desta para a borda comprimida, a tensão no concreto deve ser tomada como sendo $\sigma_c = \alpha_c f_{cd}$. Caso contrário, como na Figura 5.4, $\sigma_c = 0,9 \alpha_c f_{cd}$.

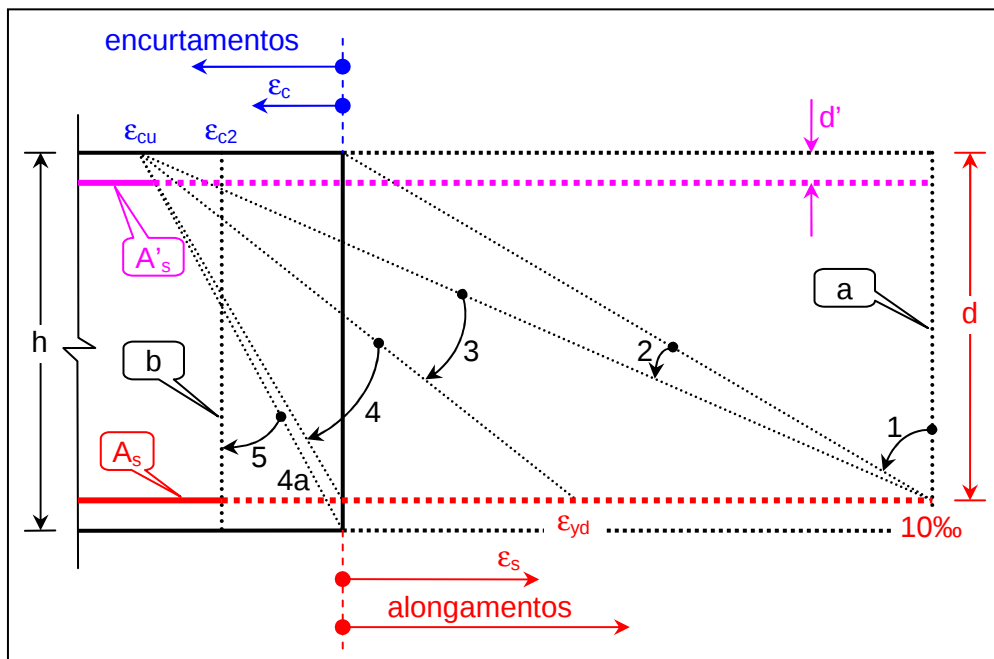


Figura 5.6 - Domínios da ABNT NBR 6118

5.3.2 Domínios 2, 3 e 4

De uma análise mais detalhada dos domínios apresentados em 5.3.1.f (Figura 5.6), é possível concluir que as vigas de concreto armado solicitadas somente por momento fletor seriam possíveis apenas nos domínios 2, 3 e 4, com a linha neutra posicionada dentro da seção geométrica da viga ($0 \leq x \leq d$), como mostrado na Figura 5.7.

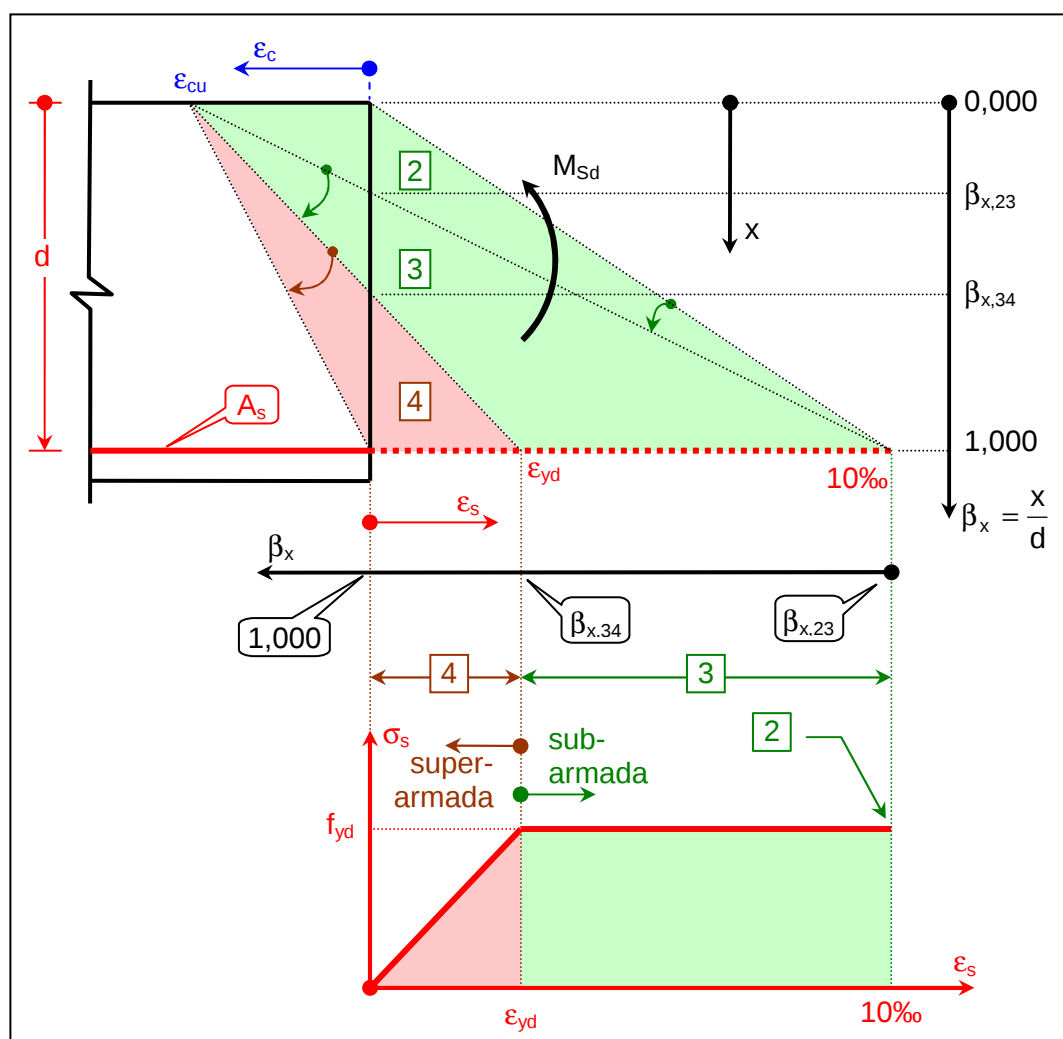


Figura 5.7 - Domínios possíveis para vigas de concreto armado

Da Figura 5.7, tem-se:

- no domínio 2 [$0,000 \leq \beta_x \leq \beta_{x,23}$],
 - ✓ o concreto não chegou ao seu encurtamento limite (ϵ_{cu}), possuindo, ainda, certa reserva de capacidade resistente;
 - ✓ o aço chegou ao seu alongamento máximo (10‰), tendo esgotado sua capacidade resistente; e
 - ✓ a viga, se submetida a um carregamento superior ao de projeto, deve apresentar um quadro de fissuração intenso devido ao excessivo alongamento da armadura (e do concreto adjacente).
- no domínio 3 [$\beta_{x,23} \leq \beta_x \leq \beta_{x,34}$] (seção subarmada),
 - ✓ o concreto chegou ao seu encurtamento limite (ϵ_{cu}), tendo esgotado sua capacidade resistente;
 - ✓ o aço tem seu alongamento compreendido entre ϵ_{yd} e 10‰, possuindo, ainda, uma boa reserva de capacidade resistente; e
 - ✓ a viga, se submetida a um carregamento superior ao de projeto, deve apresentar um quadro de fissuração expressivo devido ao fato da armadura (e o concreto adjacente) apresentar alongamento considerável.
- no domínio 4 [$\beta_{x,34} \leq \beta_x \leq 1,000$] (seção superarmada),
 - ✓ o concreto pode estar próximo de ultrapassar seu encurtamento limite (ϵ_{cu}), tendo esgotado, por inteiro, sua capacidade resistente;
 - ✓ o aço tem seu alongamento compreendido entre 0‰ e ϵ_{yd} , possuindo uma grande reserva de capacidade resistente; e
 - ✓ a viga, se submetida a um carregamento superior ao de projeto, não deve apresentar um quadro de fissuração tão perceptível quanto aos dos domínios 2 e 3 devido ao pequeno alongamento da armadura (e do concreto adjacente).

As vigas, quando dimensionadas no domínio 4 (superarmadas), podem, em caso de uma eventual sobrecarga imprevista, ser conduzidas a uma ruptura frágil, sem aviso prévio, pois o concreto rompe bruscamente antes da armadura esgotar sua capacidade resistente. As vigas dimensionadas nos domínios 2 e 3 (subarmadas) têm, devido a condições mais adequadas da posição da linha neutra, garantida boas condições de utilidade, sendo conduzidas, para uma condição adversa de carregamento, a rupturas com aviso prévio, pois a armadura escoava antes do rompimento do concreto mostrando um quadro visível de deterioração da viga.

O comportamento de viga, se subarmada ou superarmada¹, fica definido pela passagem do domínio 3 para o domínio 4 (Figura 5.7), que corresponde à reta $\epsilon_{cu} - \epsilon_{yd}$.

Considerando um estado de deformação qualquer, dentro dos domínios 2, 3 ou 4 (Figura 5.8), tem-se:

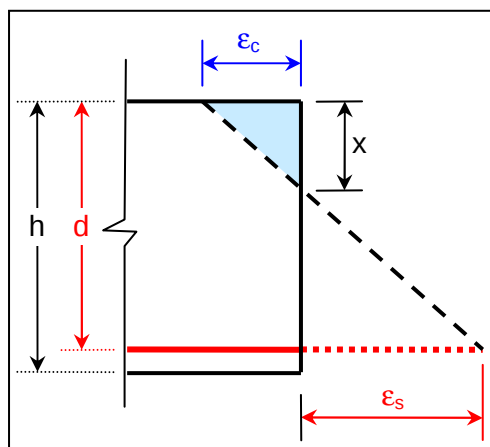


Figura 5.8 - Deformações em seção longitudinal de vigas

$$\beta_x = \frac{x}{d} = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_c + \epsilon_s}$$

Equação 5.4

¹ As vigas superarmadas possuem, em geral, pouca altura e excessiva armadura (daí o super, no sentido de excessiva quantidade de armadura), ao passo que as vigas subarmadas têm uma distribuição mais equilibrada de materiais (daí o sub, no sentido de menos quantidade de armadura).

Para ε_c igual a ε_{cu} e ε_s igual a 10‰, que representa a passagem do domínio 2 para o 3 (Figura 5.7), tem-se:

$$\beta_{x,23} = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + 10\text{‰}} \quad \text{Equação 5.5}$$

Tendo em vista que a ABNT NBR 6118 estabelece valores de ε_{cu} em função da classe do concreto, como mostrado em 1.5.8 (página 1-5), o valor de $\beta_{x,23}$, para diferentes tipos de concreto, pode ser dado por:

$$\beta_{x,23} = \begin{cases} \frac{3,5\text{‰}}{3,5\text{‰} + 10\text{‰}} & \langle f_{ck} \leq 50\text{MPa} \rangle \\ \frac{2,6\text{‰} + 35\text{‰} \left[\frac{(90 - f_{ck})}{100} \right]^4}{2,6\text{‰} + 35\text{‰} \left[\frac{(90 - f_{ck})}{100} \right]^4 + 10\text{‰}} & \langle f_{ck} > 50\text{MPa} \rangle \end{cases} \quad \text{Equação 5.6}$$

Para diferentes tipos de concreto, a Tabela 5.1 mostra os valores de $\beta_{x,23}$ calculados pela Equação 5.6.

$\beta_{x,23}$					
$\leq C50$	C55	C60	C70	C80	C90
0,259	0,238	0,224	0,210	0,207	0,206

Tabela 5.1 - Valores de $\beta_{x,23}$ para diferentes concretos

Para ε_c igual a ε_{cu} e ε_s igual a ε_{yd} , que representa a passagem do domínio 3 para o 4 (Figura 5.7), tem-se:

$$\beta_{x,34} = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{yd}} \quad \text{Equação 5.7}$$

Tendo em vista que a ABNT NBR 6118 estabelece valores de ε_{cu} em função da classe do concreto, como mostrado em 1.5.8 (página 1-5), e ε_{yd} é dependente da categoria do aço, como apresentado na Figura 5.5 (página 5-3), o valor de $\beta_{x,34}$, para diferentes tipos de concreto e aço, pode ser dado por:

$$\beta_{x,34} = \begin{cases} \frac{3,5\text{‰}}{3,5\text{‰} + \left(\frac{f_{yk}}{\gamma_s \times 210} \right) \text{‰}} & \langle f_{ck} \leq 50\text{MPa} \rangle \\ \frac{2,6\text{‰} + 35\text{‰} \left[\frac{(90 - f_{ck})}{100} \right]^4}{2,6\text{‰} + 35\text{‰} \left[\frac{(90 - f_{ck})}{100} \right]^4 + \left(\frac{f_{yk}}{\gamma_s \times 210} \right) \text{‰}} & \langle f_{ck} > 50\text{MPa} \rangle \end{cases} \quad \text{Equação 5.8}$$

Para diferentes tipos de concreto e aço, a Tabela 5.2 mostra os valores de $\beta_{x,34}$ calculados pela Equação 5.8, onde γ_s foi considerado como sendo igual a 1,15.

	$\beta_{x,34}$					
	$\leq C50$	C55	C60	C70	C80	C90
CA-25	0,772	0,751	0,736	0,720	0,716	0,715
CA-50	0,628	0,602	0,582	0,562	0,557	0,557
CA-60	0,585	0,557	0,537	0,517	0,512	0,511

Tabela 5.2 - Valores de $\beta_{x,34}$ para diferentes concretos e aços - $\gamma_s = 1,15$

5.3.3 Recomendações da ABNT NBR 6118

ABNT NBR 6118 - 16.2.3:

“Em relação aos ELU, além de se garantir a segurança adequada, isto é, uma probabilidade suficientemente pequena de ruína, é necessário garantir uma boa ductilidade, de forma que uma eventual ruína ocorra de forma suficientemente avisada, alertando os usuários.”

ABNT NBR 6118 - 17.2.3:

“Nas vigas é necessário garantir boas condições de ductilidade respeitando os limites da posição da linha neutra (x/d) dados em 14.6.4.3, sendo adotada, se necessário, armadura de compressão.

A introdução da armadura de compressão para garantir o atendimento de valores menores da posição da linha neutra (x), que estejam nos domínios 2 ou 3, não conduz a elementos estruturais com ruptura frágil (usualmente chamados de superarmados). A ruptura frágil está associada a posições da linha neutra no domínio 4, com ou sem armadura de compressão.”

ABNT NBR 6118 - 14.6.4.3:

“A capacidade de rotação dos elementos estruturais é função da posição da linha neutra no ELU. Quanto menor for x/d , tanto maior será essa capacidade.

Para proporcionar o adequado comportamento dútil em vigas e lajes, a posição da linha neutra no ELU deve obedecer aos seguintes limites:

- $x/d \leq 0,45$ para concretos com $f_{ck} \leq 50$ MPa; e
- $x/d \leq 0,35$ para concretos com $50 \text{ MPa} < f_{ck} \leq 90$ MPa.

Esses limites podem ser alterados se forem utilizados detalhes especiais de armaduras, como, por exemplo, os que produzem confinamento nessas regiões.”

Desta forma, de modo a garantir as condições de ductilidade de elementos estruturais solicitados por momento fletor, a linha neutra deve ser posicionada nos domínios 2 ou 3, respeitados os limites estabelecidos na ABNT NBR 6118 - 14.6.4.3, como mostrado na Figura 5.9.

Da mesma forma que a linha neutra pode ser representada de modo adimensional, através do parâmetro β_x , as tensões de tração na armadura também podem ser representadas de modo adimensional, através de:

$$\beta_s = \frac{\sigma_s}{f_{yd}} \quad \text{Equação 5.9}$$

Desta forma, na Figura 5.9, o eixo das tensões está representado de forma adimensional, através do parâmetro β_s .

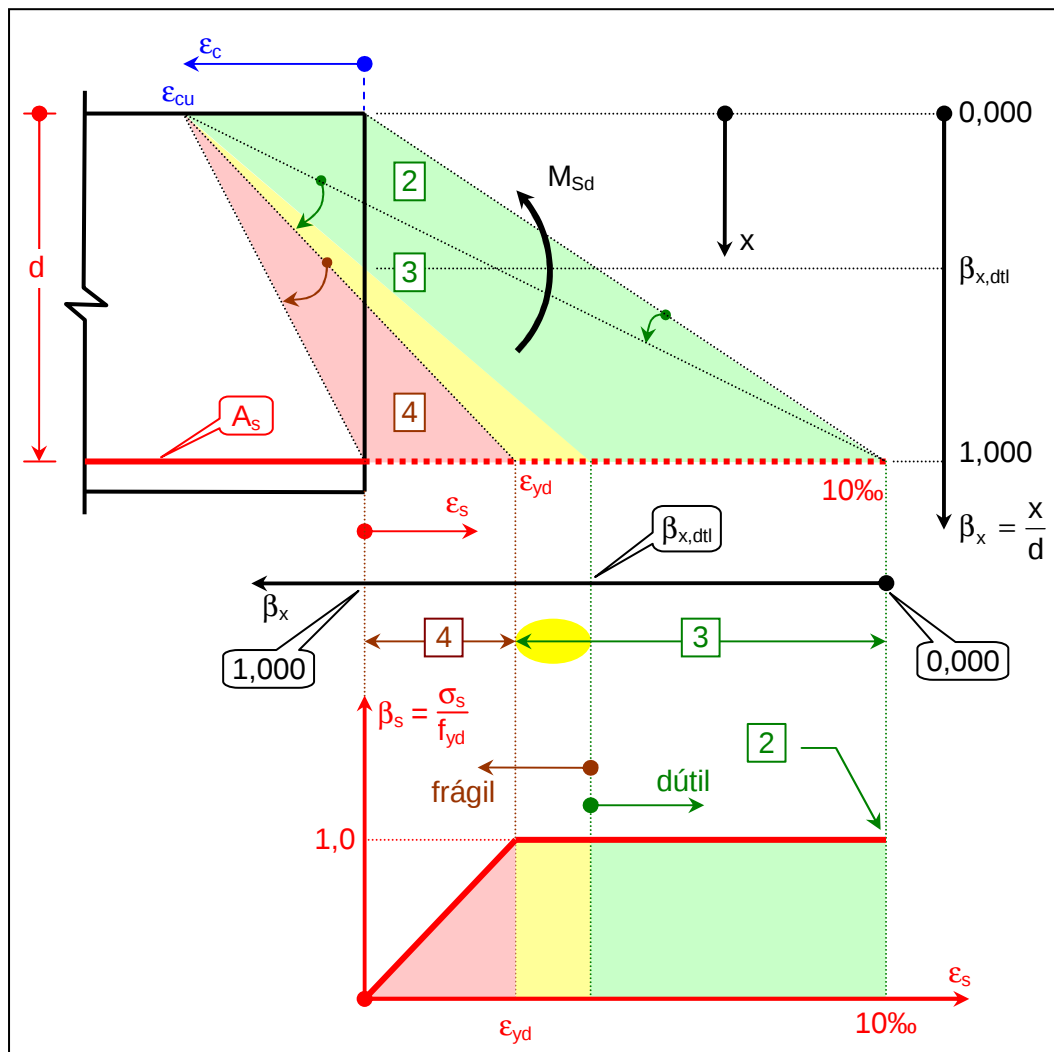


Figura 5.9 - Condições de ductilidade da ABNT NBR 6118

A obediência à ABNT NBR 6118 - 14.6.4.3, que estabelece o adequado comportamento dútil de vigas e lajes, pode ser representada por:

$$\beta_{x,dtl} = \begin{cases} 0,450 & \langle f_{ck} \leq 50\text{MPa} \rangle \\ 0,350 & \langle f_{ck} > 50\text{MPa} \rangle \end{cases}$$

Equação 5.10

5.4 Variáveis adimensionais - ELU

5.4.1 Elementos geométricos de seções retangulares

Seja a Figura 5.10 onde são mostrados, dentre outros:

- os esforços resistentes de cálculo (R_{cd} e R_{sd});
- a posição da linha neutra (x);
- a altura do retângulo de tensões de compressão (y);
- a distância entre os esforços resistentes de cálculo (z); e
- a altura útil da viga (d).

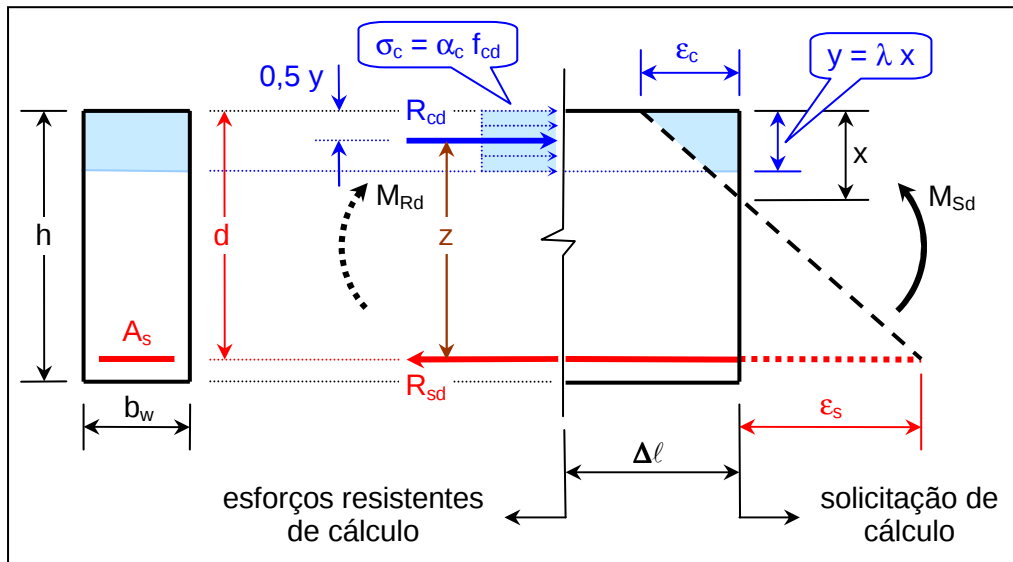


Figura 5.10 - Solicitação e esforços resistentes em vigas de concreto armado

Da Figura 5.10, tem-se:

- posição da linha neutra, como estabelecida pela Equação 5.4 (página 5-5)

$$\beta_x = \frac{x}{d} = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_c + \epsilon_s}$$

- altura do retângulo de tensões σ_c

$$y = \lambda x = \lambda d \left(\frac{x}{d} \right)$$

$$\beta_y = \frac{y}{d} = \lambda \beta_x$$

- braço de alavanca entre os esforços resistentes de cálculo R_{cd} e R_{sd}

$$z = d - 0,5y$$

$$z = d - 0,5(\lambda x)$$

$$z = d \left(1 - 0,5\lambda \frac{x}{d} \right)$$

$$\beta_z = \frac{z}{d} = 1 - 0,5\lambda \beta_x$$

Agrupando todas as variáveis geométricas β , e criando a variável auxiliar β_c , tem-se:

$\beta_x = \frac{x}{d} = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_c + \epsilon_s}$	⟨posição da linha neutra⟩
$\beta_y = \frac{y}{d} = \lambda \beta_x$	⟨altura do retângulo de tensões σ_c ⟩
$\beta_z = \frac{z}{d} = 1 - 0,5\lambda \beta_x$	⟨braço de alavanca entre R_{cd} e R_{sd} ⟩
$\beta_c = \lambda \alpha_c \beta_x \beta_z = \lambda \alpha_c \beta_x (1 - 0,5\lambda \beta_x)$	⟨variável auxiliar⟩

Equação 5.11

A Equação 5.11 mostra que as variáveis adimensionais β_y , β_z e β_c são funções diretas de β_x , λ e α_c . Como mostrado nas Equação 5.2 e Equação 5.3 (página 5-3), as variáveis λ e α_c são funções diretas da classe do concreto através de f_{ck} . Desta forma, da Equação 5.11 resultam:

- concreto classe igual ou inferior a C50 ($f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$)

$$\beta_x = \frac{x}{d} = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c + \varepsilon_s}$$

$$\beta_y = \frac{y}{d} = 0,8\beta_x$$

$$\beta_z = \frac{z}{d} = 1 - 0,4\beta_x$$

$$\beta_c = \lambda \alpha_c \beta_x \beta_z = 0,68\beta_x \beta_z$$

$$\langle f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \rangle$$

Equação 5.12

- concreto classe superior a C50 ($f_{ck} > 50 \text{ MPa}$)

$$\beta_x = \frac{x}{d} = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c + \varepsilon_s}$$

$$\beta_y = \frac{y}{d} = \left(0,8 - \frac{f_{ck} - 50}{400} \right) \beta_x$$

$$\beta_z = \frac{z}{d} = 1 - \left[0,5 \left(0,8 - \frac{f_{ck} - 50}{400} \right) \right] \beta_x$$

$$\beta_c = \lambda \alpha_c \beta_x \beta_z = \left(0,8 - \frac{f_{ck} - 50}{400} \right) \left[0,85 \left(1 - \frac{f_{ck} - 50}{200} \right) \right] \beta_x \beta_z$$

$$\langle f_{ck} > 50 \text{ MPa} \rangle$$

Equação 5.13

Desta forma, uma vez conhecida a posição da linha neutra (β_x), todos os demais elementos geométricos (β_y , β_z e β_c) ficam igualmente definidos, para cada classe de concreto. A Equação 5.12 e a Equação 5.13 permitem agrupar os valores de β como mostrado na Tabela 5.3.

≤ C50				C90			
β_x	β_y	β_z	β_c	β_x	β_y	β_z	β_c
0,100	0,080	0,960	0,065	0,100	0,070	0,965	0,046
0,200	0,160	0,920	0,125	0,200	0,140	0,930	0,089
0,250	0,200	0,900	0,153	0,250	0,175	0,913	0,109
0,300	0,240	0,880	0,180	0,300	0,210	0,895	0,128
0,350	0,280	0,860	0,205	0,350	0,245	0,878	0,146
0,450	0,360	0,820	0,251	0,450	0,315	0,843	0,180

Tabela 5.3 - Valores de β_y , β_z , e β_c como função da classe do concreto e β_x

5.4.2 Diagrama adimensional tensão-deformação do aço

Considerando o diagrama tensão-deformação do aço como apresentado na Figura 5.5 (página 5-3), e, agora, considerando também as deformações de encurtamento (compressão), chega-se a Figura 5.11. Nesta Figura, assim como na Figura 5.9 (página 5-8), optou-se por apresentar o diagrama de forma adimensional, com a introdução dos valores de β_s e β'_s .

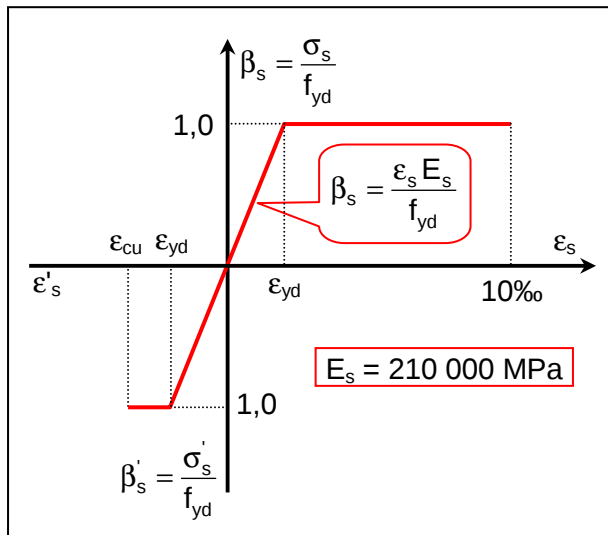


Figura 5.11 - Diagrama adimensional tensão-deformação do aço

Os valores de β_s e β'_s , no trecho inclinado, são dados por:

$$\beta_s = \frac{\sigma_s}{f_{yd}} = \frac{\epsilon_s E_s}{f_{yd}} = \epsilon_s \left(\frac{\gamma_s E_s}{f_{yk}} \right) \leq 1,0$$

$$\beta'_s = \frac{\sigma'_s}{f_{yd}} = \frac{\epsilon'_s E_s}{f_{yd}} = \epsilon'_s \left(\frac{\gamma_s E_s}{f_{yk}} \right) \leq 1,0$$

Equação 5.14

Seja a Figura 5.12 onde são mostrados, dentre outros:

- a posição da linha neutra (x);
- a altura útil da viga (d);
- a posição da armadura comprimida (d');
- o encurtamento da fibra de concreto mais comprimida (ϵ_c);
- o encurtamento da armadura comprimida (ϵ'_s); e
- o alongamento da armadura tracionada (ϵ_s).

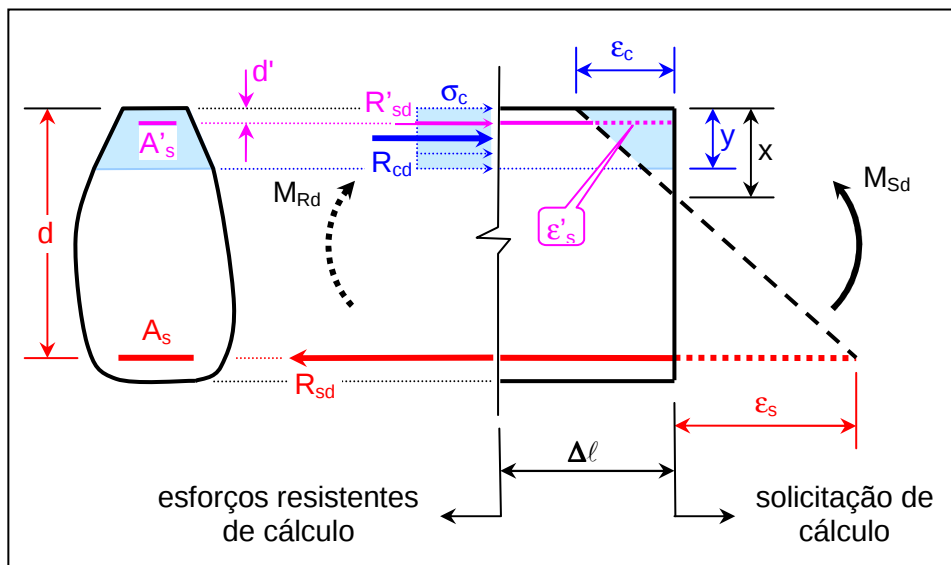


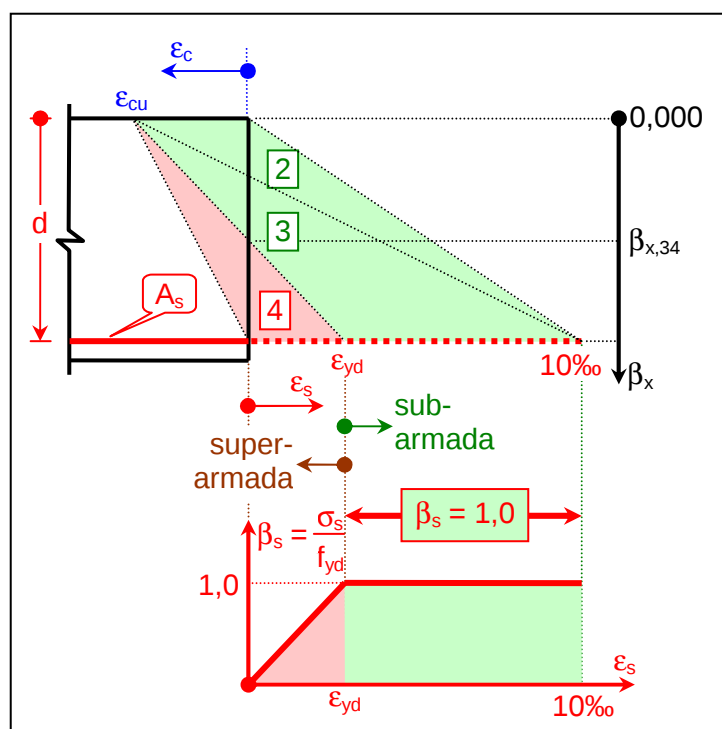
Figura 5.12 - Alongamento e encurtamento da armadura

Os valores de ϵ_s e ϵ'_s , necessários para a determinação de β_s e β'_s pela Equação 5.14, só são possíveis se forem conhecidos os valores de x , d , d' e ϵ_c , como mostrados na Figura 5.12. Sendo ϵ_c dependente dos domínios da ABNT NBR 6118, a determinação de β_s e β'_s fica, também, dependente destes domínios.

5.4.2.1 Armadura tracionada

5.4.2.1.1 Domínios 2 e 3

Considerando a Figura 5.7 (página 5-4) e a Figura 5.9 (página 5-8), observa-se, para os



domínios 2 e 3 ($0,000 \leq \beta_x \leq \beta_{x,34}$), que o valor de β_s é sempre igual a 1,0, como apresentado na Figura 5.13. Observa-se, também, na referida Figura que uma viga subarmada pode ser caracterizada com a imposição de β_s igual a 1,0.

Figura 5.13 - Domínios 2 e 3 - ($\beta_s = 1,0$)

Desta forma, para os domínios 2 e 3, o valor de β_s , dado pela Equação 5.14, corresponde a:

$$\beta_s = 1,000 \quad \langle 0,000 \leq \beta_x \leq \beta_{x,34} \rangle$$

Equação 5.15

5.4.2.1.2 Domínio 4

Da Figura 5.13, pode ser observado que o valor de β_s é menor que 1,0 somente no domínio 4 ($\beta_{x,34} \leq \beta_x \leq 1,000$). Por outro lado, no domínio 4, o encurtamento do concreto corresponde ao valor último, ou seja, ϵ_{cu} (Figura 5.14).

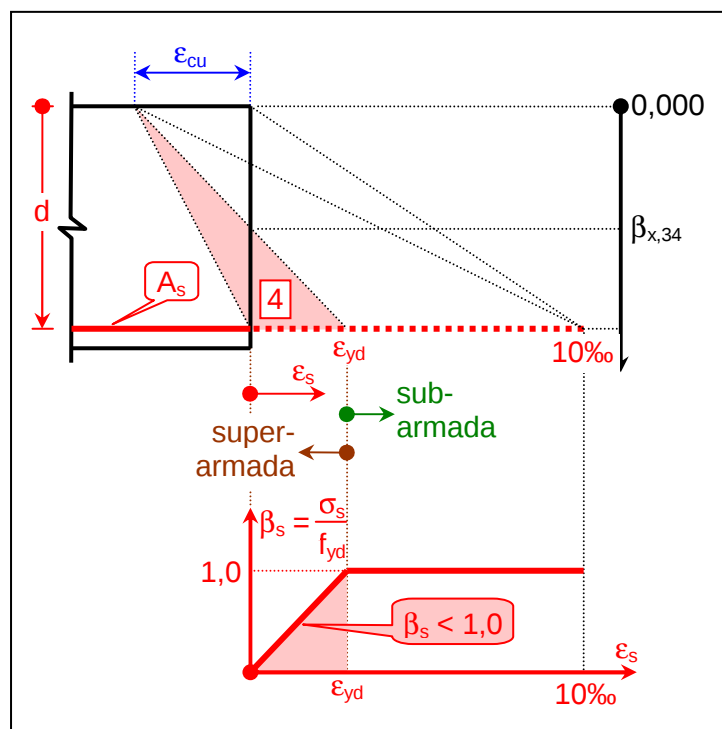


Figura 5.14 - Domínio 4 - ($\beta_s < 1,0$)

Da Figura 5.12 (página 5-11), tem-se:

$$\epsilon_s = \left(\frac{d-x}{x} \right) \epsilon_c = \left(\frac{1-\frac{x}{d}}{\frac{x}{d}} \right) \epsilon_{cu} \quad (\epsilon_c = \epsilon_{cu} \text{ no domínio 4})$$

$$\beta_x = \frac{x}{d} \quad (\text{Equação 5.4, página 5-5})$$

$$\epsilon_s = \left(\frac{1-\beta_x}{\beta_x} \right) \epsilon_{cu}$$

$$\beta_s = \epsilon_s \left(\frac{\gamma_s E_s}{f_{yk}} \right) \leq 1,0 \quad (\text{Equação 5.14, página 5-11})$$

$$\beta_s = \left(\frac{1-\beta_x}{\beta_x} \right) \left(\frac{\gamma_s E_s}{f_{yk}} \right) \epsilon_{cu} \leq 1,0$$

$$\epsilon_{cu} = \begin{cases} 3,5\text{‰} & \langle f_{ck} \leq 50 \text{MPa} \rangle \\ 2,6\text{‰} + 35\text{‰} \left[\frac{(90 - f_{ck})}{100} \right]^4 & \langle f_{ck} > 50 \text{MPa} \rangle \end{cases} \quad (1.5.8, \text{ página 1-5})$$

- concreto classe igual ou inferior a C50 ($f_{ck} \leq 50 \text{MPa}$)

$$\beta_s = \left(\frac{1-\beta_x}{\beta_x} \right) \left(\frac{\gamma_s E_s}{f_{yk}} \right) 3,5\text{‰} \leq 1,0 \quad \langle \beta_{x,34} \leq \beta_x \leq 1,000 \rangle$$

$$\langle f_{ck} \leq 50 \text{MPa} \rangle$$

Equação 5.16

- concreto classe superior a C50 ($f_{ck} > 50 \text{MPa}$)

$$\beta_s = \left(\frac{1-\beta_x}{\beta_x} \right) \left(\frac{\gamma_s E_s}{f_{yk}} \right) \left\{ 2,6\text{‰} + 35\text{‰} \left[\frac{(90 - f_{ck})}{100} \right]^4 \right\} \leq 1,0 \quad \langle \beta_{x,34} \leq \beta_x \leq 1,000 \rangle$$

$$\langle f_{ck} > 50 \text{MPa} \rangle$$

Equação 5.17

5.4.2.2 Armadura comprimida

5.4.2.2.1 Domínio 2

Considerando a Figura 5.13, observa-se, para o domínios 2 ($0,000 \leq \beta_x \leq \beta_{x,23}$), que o valor de ϵ_s é igual a 10‰ (Figura 5.15).

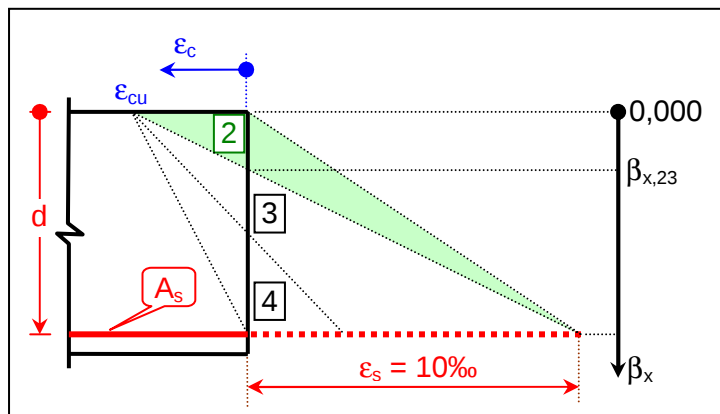


Figura 5.15 - Domínio 2 - ($\epsilon_s = 10\text{‰}$)

Da Figura 5.12 (página 5-11), tem-se:

$$\epsilon'_s = \left(\frac{x - d'}{d - x} \right) \epsilon_s = \left(\frac{\frac{x}{d} - \frac{d'}{d}}{1 - \frac{x}{d}} \right) 10\text{‰} \quad (\epsilon_s = 10\text{‰ no domínio 2})$$

$$\beta_x = \frac{x}{d} \quad (\text{Equação 5.4, página 5-5})$$

$$\epsilon'_s = \left(\frac{\beta_x - \frac{d'}{d}}{1 - \beta_x} \right) 10\text{‰}$$

$$\beta'_s = \epsilon'_s \left(\frac{\gamma_s E_s}{f_{yk}} \right) \leq 1,0 \quad (\text{Equação 5.14, página 5-11})$$

$$\beta'_s = \left(\frac{\beta_x - \frac{d'}{d}}{1 - \beta_x} \right) \left(\frac{\gamma_s E_s}{f_{yk}} \right) 10\text{‰} \leq 1,0 \quad \langle 0,000 \leq \beta_x \leq \beta_{x,23} \rangle \quad \text{Equação 5.18}$$

5.4.2.2.2 Domínios 3 e 4

Considerando a Figura 5.15, observa-se, para o domínios 3 e 4 ($\beta_{x,23} \leq \beta_x \leq 1,000$), que o encurtamento do concreto corresponde ao valor último ϵ_{cu} (Figura 5.16).

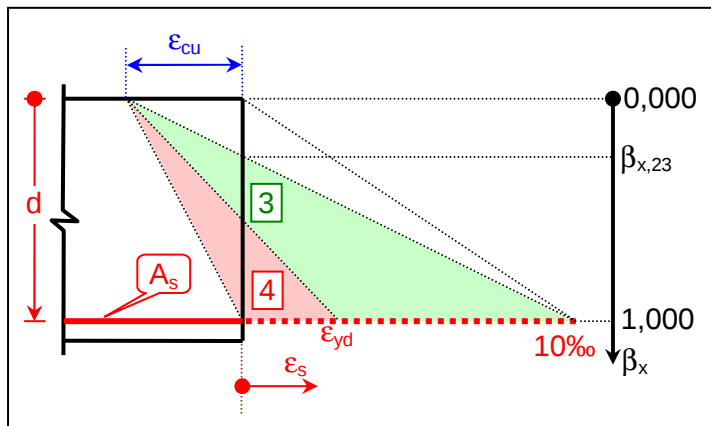


Figura 5.16 - Domínios 3 e 4 - ($\epsilon_c = \epsilon_{cu}$)

Da Figura 5.12 (página 5-11), tem-se:

$$\epsilon'_s = \left(\frac{x - d'}{x} \right) \epsilon_c = \left(\frac{\frac{x}{d} - \frac{d'}{d}}{\frac{x}{d}} \right) \epsilon_{cu} \quad (\epsilon_c = \epsilon_{cu} \text{ nos domínios 3 e 4})$$

$$\beta_x = \frac{x}{d} \quad (\text{Equação 5.4, página 5-5})$$

$$\epsilon'_s = \left(\frac{\beta_x - \frac{d'}{d}}{\beta_x} \right) \epsilon_{cu}$$

$$\beta'_s = \epsilon'_s \left(\frac{\gamma_s E_s}{f_{yk}} \right) \leq 1,0 \quad (\text{Equação 5.14, página 5-11})$$

$$\beta'_s = \left(\frac{\beta_x - \frac{d'}{d}}{\beta_x} \right) \left(\frac{\gamma_s E_s}{f_{yk}} \right) \epsilon_{cu} \leq 1,0$$

$$\epsilon_{cu} = \begin{cases} 3,5\text{‰} & \langle f_{ck} \leq 50 \text{MPa} \rangle \\ 2,6\text{‰} + 35\text{‰} \left[\frac{(90 - f_{ck})}{100} \right]^4 & \langle f_{ck} > 50 \text{MPa} \rangle \end{cases} \quad (1.5.8, \text{ página 1-5})$$

- concreto classe igual ou inferior a C50 ($f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$)

$$\beta'_s = \left(\frac{\beta_x - \frac{d'}{d}}{\beta_x} \right) \left(\frac{\gamma_s E_s}{f_{yk}} \right) 3,5\text{‰} \leq 1,0 \quad \langle \beta_{x,23} \leq \beta_x \leq 1000 \rangle$$

Equação 5.19

$$\langle f_{ck} \leq 50 \text{MPa} \rangle$$

- concreto classe superior a C50 ($f_{ck} > 50 \text{ MPa}$)

$$\beta'_s = \left(\frac{\beta_x - \frac{d'}{d}}{\beta_x} \right) \left(\frac{\gamma_s E_s}{f_{yk}} \right) \left\{ 2,6\text{‰} + 35\text{‰} \left[\frac{(90 - f_{ck})}{100} \right]^4 \right\} \leq 1,0 \quad \langle \beta_{x,23} \leq \beta_x \leq 1000 \rangle$$

Equação 5.20

$$\langle f_{ck} > 50 \text{MPa} \rangle$$

5.4.2.3 Valores tabelados

Considerando da Equação 5.15 a Equação 5.20, consta-se que os valores de β_s e β'_s são funções de β_x , da relação d/d' , da classe do concreto (f_{ck}), da categoria do aço (f_{yk}) e do coeficiente de segurança do aço (γ_s). Assim como feito para as variáveis β_y , β_z , e β_c (Tabela 5.3, página 5-10), é possível associar os valores β_s e β'_s a valores pré-fixados de β_x , e outros, como mostrado na Tabela 5.4, feita para o aço CA-25 ($\gamma_s = 1,15$) e concreto C70¹.

Concreto C70														
Aço CA-25			$\gamma_s = 1,15$		β'_s para (d'/d) =									
β_x	β_y	β_z	β_c	β_s	0,025	0,050	0,075	0,100	0,125	0,150	0,175	0,200	0,225	0,250
0,100	0,075	0,963	0,055	1,000	0,805	0,537	0,268							
0,220	0,165	0,918	0,116	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,816	0,525	0,233		
0,320	0,240	0,880	0,162	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,962	0,762	0,561
$\beta_{x,dfl}$	0,263	0,869	0,174	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,916	0,733
0,450	0,338	0,831	0,215	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Tabela 5.4 - Flexão simples - C70 e CA-25 ($\gamma_s = 1,15$)

¹ As tabelas completas estão apresentadas em 5.13 (página 5-53 em diante).

5.5 Indexação de áreas comprimidas

Para a caracterização de áreas comprimidas e correspondentes esforços resistentes de cálculo (forças e momentos), será usada a seguinte indexação (Figura 5.17):

- índice 1
 - ✓ área de concreto comprimido de largura b_w e altura y ;
 - ✓ força resistente de cálculo (R_{cd1}) definida pelo produto $(b_w y) \sigma_c$; e
 - ✓ momento resistente de cálculo (M_{Rd1}) definido pelo produto $R_{cd1} z$.
- índice 2 ou plica (')
 - ✓ área de armadura comprimida (A'_s);
 - ✓ força resistente de cálculo (R'_{sd}) definida pelo produto $A'_s \sigma'_s$; e
 - ✓ momento resistente de cálculo (M_{Rd2}) definido pelo produto $R'_{sd} (d - d')$.
- índice 3
 - ✓ área de concreto comprimido de largura $(b_f - b_w)$ e altura h_f ;
 - ✓ força resistente de cálculo (R_{cd3}) definida pelo produto $[(b_f - b_w) h_f] \sigma_c$; e
 - ✓ momento resistente de cálculo (M_{Rd3}) definido pelo produto $R_{cd3} (d - h_f/2)$.

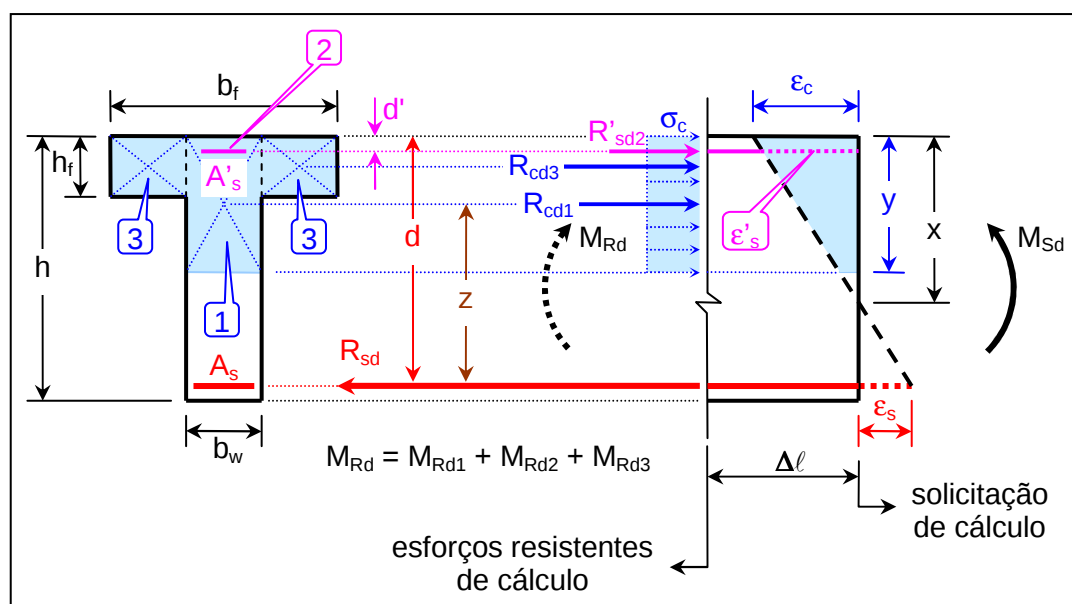


Figura 5.17 - Indexação de áreas comprimidas

5.6 Armaduras longitudinais máximas e mínimas

5.6.1 Armadura mínima de tração

A ruptura frágil das seções transversais, quando da formação da primeira fissura, deve ser evitada considerando-se, para o cálculo das armaduras, um momento mínimo dado pelo valor correspondente ao que produziria a ruptura da seção de concreto simples, supondo que a resistência à tração do concreto seja dada por $f_{ctk,sup}$.

A armadura mínima de tração, em elementos estruturais armados ou protendidos deve ser determinada pelo dimensionamento da seção a um momento fletor mínimo dado pela expressão a seguir, respeitada a taxa mínima absoluta de 0,15%.

$$M_{d,min} = 0,8 W_0 f_{ctk,sup}$$

Equação 5.21

onde:

W_0 é o módulo de resistência da seção transversal bruta do concreto, relativo à fibra mais tracionada; e

$f_{ctk,sup}$ é a resistência característica superior do concreto à tração (1.5.5, página 1-4).

$$f_{ctk,sup} = 0,39 \times \sqrt[3]{f_{ck}^2} \quad \langle f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \rangle$$

$$f_{ctk,sup} = 2,756 \ln(1 + 0,11 f_{ck}) \quad \langle f_{ck} > 50 \text{ MPa} \rangle$$

Equação 5.22

A taxa de armadura longitudinal mínima (ρ_{min}) é definida como sendo:

$$\rho_{min} = \frac{A_{s,min}}{A_c} \geq 0,15\%$$

Equação 5.23

onde:

$A_{s,min}$ corresponde a área da seção transversal da armadura longitudinal tracionada determinada pelo dimensionamento da seção transversal do elemento de concreto estrutural, necessária para resistir ao momento fletor $M_{d,min}$, como estabelecido pela Equação 5.21; e

A_c corresponde a área da seção transversal bruta do elemento de concreto que incorpora a armadura $A_{s,min}$.

5.6.2 Armadura máxima

A especificação de valores máximos para as armaduras decorre da necessidade de se assegurar condições de ductilidade e de se respeitar o campo de validade dos ensaios que deram origem às prescrições de funcionamento do conjunto aço-concreto.

A soma das armaduras de tração e compressão ($A_s + A'_s$) não devem ter valor maior que 4% A_c , calculada na região fora da zona de emendas.

A taxa de armadura longitudinal máxima (ρ_{max}) será dada por:

$$\rho_{max} = \frac{A_s + A'_s}{A_c} \leq 4\%$$

Equação 5.24

onde:

A_s corresponde a área da seção transversal da armadura longitudinal tracionada;

A'_s corresponde a área da seção transversal da armadura longitudinal comprimida; e

A_c corresponde a área da seção transversal bruta do elemento de concreto que incorpora as armaduras A_s e A'_s .

A aplicação direta da Equação 5.24, para seções T, pode conduzir a vigas de difícil concretagem (excesso de armadura). A Figura 5.18

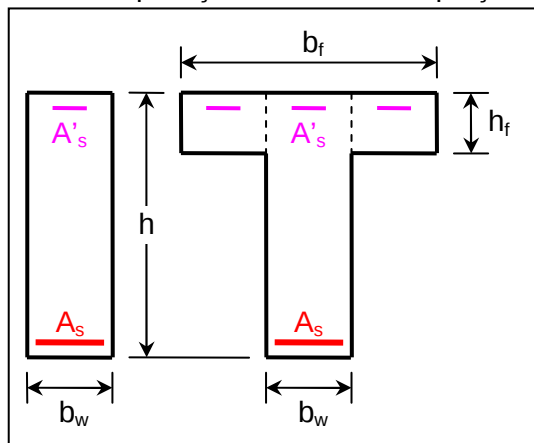


Figura 5.18 - Comparativo entre seções retangulares e T

mostra uma seção retangular e uma seção T, de mesma altura (h) e mesma armadura tracionada (A_s). Admitindo-se que a armadura comprimida (A'_s) seja de pequena monta a seguinte situação pode vir a ocorrer:

$$\rho_{ret} = \frac{(A_s + A'_s)}{A_c} = \frac{(A_s + A'_s)}{b_w h} \leq 4\%$$

$$\rho_T = \frac{(A_s + \sum A'_s)}{A_c} = \frac{(A_s + \sum A'_s)}{b_w h + (b_f - b_w) h_f} \leq 4\%$$

Como pode ser observado na Figura 5.18, no retângulo $b_w h$ as quantidades de armadura são iguais tanto para seção retangular como para a seção T. Isto nos leva a concluir que a verificação da taxa máxima de armadura em seções T deve ser feita tanto para a seção total como para a seção $b_w h$, de tal forma que:

$$\rho_T = \begin{cases} \frac{(A_s + \sum A'_s)}{b_w h + (b_f - b_w) h_f} \leq 4\% \\ \frac{(A_s + A'_s)}{b_w h} \leq 4\% \end{cases}$$

Como a concentração de armadura sempre ocorre no retângulo $b_w h$, a verificação da taxa máxima de armadura em seções retangulares e seções T pode, de modo simplificado, ser feita da seguinte forma:

$$\rho_{T,max} = \frac{A_s + A'_s}{b_w h} \leq 4\%$$

Equação 5.25

5.7 Vigas de seção retangular sem armadura de compressão

Seja a Figura 5.19 onde são mostrados, dentre outros:

- a solicitação de cálculo (M_{Sd});
- os esforços resistentes de cálculo (R_{cd} e R_{sd});
- os elementos geométricos referentes à seção transversal da viga (x , y , z , d , b_w e h);
- as deformações (ϵ_c e ϵ_s); e
- a área de armadura (A_s).

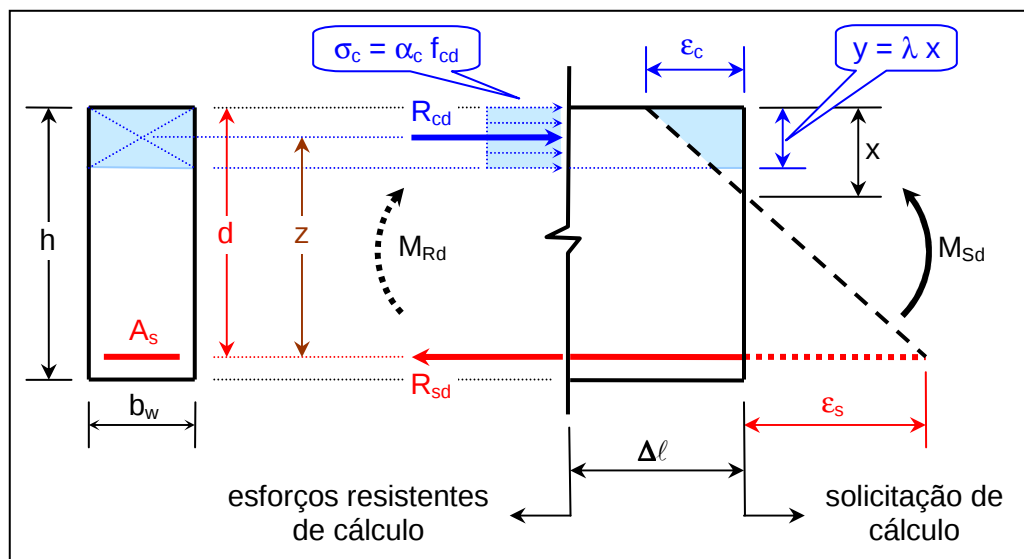


Figura 5.19 - Viga de seção retangular sem armadura de compressão

Da Figura 5.19 e considerando as equações anteriormente apresentadas, tem-se:

- elementos geométricos da seção retangular (Equação 5.11, página 5-9)

$$x = \beta_x d$$

$$y = \beta_y d$$

$$z = \beta_z d$$
- valores geométricos adimensionais (Equação 5.11, página 5-9)

$$\beta_y = \lambda \beta_x$$

$$\beta_z = 1 - 0,5 \lambda \beta_x$$

$$\beta_c = \lambda \alpha_c \beta_x \beta_z$$
- valor adimensional da tensão na armadura tracionada (Equação 5.14, página 5-11)

$$\sigma_s = \beta_s f_{yd}$$
- condição de segurança

$$M_{Rd} \geq M_{Sd}$$

- esforços resistentes de cálculo

$$R_{cd} = R_{sd}$$
- momento fletor (binário) devido aos esforços resistentes de cálculo

$$M_{Rd} = R_{cd} z = R_{sd} z$$
- esforço resistente de cálculo atuante na região de concreto comprimido de largura b_w

$$R_{cd} = (b_w y) \sigma_c$$

$$R_{cd} = (b_w)(\beta_y d)(\alpha_c f_{cd})$$

$$R_{cd} = (b_w)(\lambda \beta_x d)(\alpha_c f_{cd})$$

$$R_{cd} = \lambda \alpha_c \beta_x (b_w d) f_{cd}$$
- esforços resistentes de cálculo atuantes nas armaduras tracionadas

$$R_{sd} = A_s \sigma_s$$

$$R_{sd} = A_s \beta_s f_{yd}$$

$$R_{sd} = \beta_s A_s f_{yd}$$
- binário M_{Rd}/R_{cd}

$$M_{Rd} = R_{cd} z$$

$$R_{cd} = \lambda \alpha_c \beta_x (b_w d) f_{cd}$$

$$z = \beta_z d$$

$$\beta_c = \lambda \alpha_c \beta_x \beta_z$$

$$M_{Rd} = [\lambda \alpha_c \beta_x (b_w d) f_{cd}] (\beta_z d)$$

$$M_{Rd} = (\lambda \alpha_c \beta_x \beta_z) (b_w d^2 f_{cd})$$

$$M_{Rd} = \beta_c b_w d^2 f_{cd}$$

$$\beta_c = \frac{M_{Rd}}{b_w d^2 f_{cd}}$$
- binário M_{Rd}/R_{sd}

$$M_{Rd} = R_{sd} z$$

$$R_{sd} = \beta_s A_s f_{yd}$$

$$z = \beta_z d$$

$$M_{Rd} = (\beta_s A_s f_{yd}) (\beta_z d)$$

$$A_s = \frac{M_{Rd}}{\beta_z d \beta_s f_{yd}}$$
- equilíbrio dos esforços resistentes de cálculo

$$R_{cd} = \lambda \alpha_c \beta_x (b_w d) f_{cd}$$

$$R_{sd} = \beta_s A_s f_{yd}$$

$$R_{sd} = R_{cd}$$

$$\beta_s A_s f_{yd} = \lambda \alpha_c \beta_x (b_w d) f_{cd}$$

$$\beta_s = \left(\frac{\lambda \alpha_c b_w d f_{cd}}{A_s f_{yd}} \right) \beta_x$$

– condições limites

✓ momento resistente (Equação 5.21, página 5-16)

$$M_{Rd} = \max \begin{bmatrix} M_{d,min} \\ M_{Sd} \end{bmatrix} = \max \begin{bmatrix} 0,8 W_0 f_{ctk,inf} \\ M_{Sd} \end{bmatrix}$$

✓ ductilidade (Equação 5.10, página 5-8)

$$\beta_x \leq \beta_{x,dtl} = \begin{cases} 0,450 & \langle f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \rangle \\ 0,350 & \langle f_{ck} > 50 \text{ MPa} \rangle \end{cases}$$

✓ armadura (Equação 5.23 e Equação 5.24, página 5-17)

$$A_s \begin{cases} \geq A_{s,min} \\ \leq A_{s,max} \end{cases}$$

– equações de cálculo com uso de tabelas

$$M_{Rd} = \max \begin{bmatrix} M_{d,min} \\ M_{Sd} \end{bmatrix} = \max \begin{bmatrix} 0,8 W_0 f_{ctk,sup} \\ M_{Sd} \end{bmatrix}$$

$$\beta_c = \frac{M_{Rd}}{b_w d^2 f_{cd}} \Rightarrow \text{tab} \begin{cases} \beta_x \\ \beta_z \\ \beta_s \end{cases}$$

$$\beta_x \leq \beta_{x,dtl} = \begin{cases} 0,450 & \langle f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \rangle \\ 0,350 & \langle f_{ck} > 50 \text{ MPa} \rangle \end{cases}$$

$\beta_x \leq \beta_{x,dtl} \rightarrow$
não é necessária
armadura de
compressão

Equação 5.26

$$A_s = \frac{M_{Rd}}{\beta_z d \beta_s f_{yd}} \begin{cases} \geq A_{s,min} = 0,15\% A_c \\ \leq A_{s,max} = 4\% A_c \end{cases}$$

$$\beta_s = \left(\frac{\lambda \alpha_c b_w d f_{cd}}{A_s f_{yd}} \right) \beta_x$$

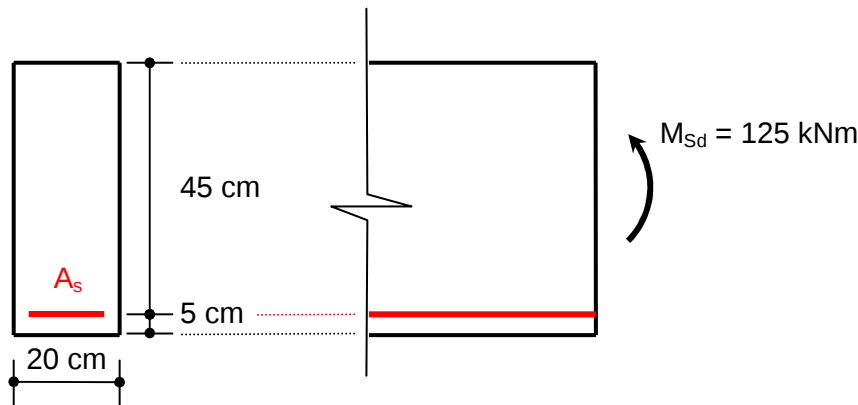
Exemplo 5.1: Determinar a armadura necessária para a viga abaixo indicada, a qual está submetida a um momento fletor solitante de cálculo (M_{Sd}) igual a 125 kNm.

Dados:

- concreto: C35; e
- aço: CA-50.

Considerar:

- somente solicitações normais (momentos fletores); e
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$).



Solução: A solução do problema consiste na aplicação direta da Equação 5.26, com o uso da tabela para concreto C35 e aço CA-50 (página 5-61).

a. Dados - uniformização de unidades (kN e cm)

$$f_{ck} = 35 \text{ MPa} = 3,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$\lambda = 0,80 \quad \langle f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \rangle$$

$$\alpha_c = 0,85 \quad \langle f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \rangle$$

$$\beta_{x,dtl} = 0,45 \quad \langle f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \rangle$$

$$f_{ctk,sup} = 0,39 \times \sqrt[3]{f_{ck}^2} \quad \langle f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \rangle$$

$$f_{ctk,sup} = 0,39 \times \sqrt[3]{35^2} = 4,17 \text{ MPa} = 0,417 \text{ kN/cm}^2$$

$$\gamma_c = 1,40 \quad (\text{ELU - combinação normal})$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{3,5}{1,40} = 2,50 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa} = 50 \text{ kN/cm}^2$$

$$\gamma_s = 1,15 \quad (\text{ELU - combinação normal})$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{50}{1,15} = 43,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$b_w = 20 \text{ cm}$$

$$d = 45 \text{ cm}$$

$$h = 50 \text{ cm}$$

$$A_c = b_w h = 20 \times 50 = 1000 \text{ cm}^2$$

$$W_0 = \frac{b_w h^2}{6} = \frac{20 \times 50^2}{6} = 8333,33 \text{ cm}^3$$

$$M_{d,min} = 0,8 W_0 f_{ctk,sup} = 0,8 \times 8333,33 \times 0,417 = 2780,00 \text{ kNcm}$$

$$M_{Sd} = 125 \text{ kNm} = 12500 \text{ kNcm}$$

$$M_{Rd} = \max \begin{bmatrix} M_{d,min} \\ M_{Sd} \end{bmatrix} = \max \begin{bmatrix} 2780 \\ 12500 \end{bmatrix} = 12500 \text{ kNcm}$$

$$A_{s,min} = 0,15\% A_c = \frac{0,15}{100} \times 1000 = 1,50 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,max} = 4\% A_c = \frac{4}{100} \times 1000 = 40,00 \text{ cm}^2$$

b. Determinação de β_c

$$\beta_c = \frac{M_{Rd}}{b_w d^2 f_{cd}} = \frac{12500}{20 \times 45^2 \times 2,50} = 0,123 \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow \text{tab} \begin{cases} \beta_x = 0,197 \\ \beta_z = 0,921 \\ \beta_s = 1,000 \end{cases}$$

$$\underbrace{\beta_x}_{0,197} < \underbrace{\beta_{x,dll}}_{0,450} \quad \text{😊}$$

c. Cálculo da armadura A_s

$$A_s = \frac{M_{Rd}}{\beta_z d \beta_s f_{yd}} \begin{cases} \geq A_{s,min} \\ \leq A_{s,max} \end{cases}$$

$$A_s = \frac{12500}{0,921 \times 45 \times 1000 \times 43,5} = 6,93 \text{ cm}^2 \begin{cases} > 150 \text{ cm}^2 \\ < 40,0 \text{ cm}^2 \end{cases} \quad \text{😊}$$

$$A_s = 6,93 \text{ cm}^2 \quad \blacktriangleleft$$

d. Verificação

$$\beta_s = \left(\frac{\lambda \alpha_c b_w d f_{cd}}{A_s f_{yd}} \right) \beta_x$$

$$\beta_s = \left(\frac{0,8 \times 0,85 \times 20 \times 45 \times 2,50}{6,93 \times 43,5} \right) \times 0,197 = 1,000 \quad \text{😊}$$

e. Determinação de A_s sem o uso de tabelas

$$\beta_c = \frac{M_{Rd}}{b_w d^2 f_{cd}} = \frac{12500}{20 \times 45^2 \times 2,50} = 0,1234568$$

$$\beta_c = \lambda \alpha_c \beta_x (1 - 0,5 \lambda \beta_x)$$

$$0,1234568 = 0,8 \times 0,85 \times \beta_x [1 - (0,5 \times 0,8 \times \beta_x)]$$

$$\beta_x^2 - 2,5 \beta_x + 0,4538853 = 0$$

$$\beta_x = \frac{2,5 - \sqrt{2,5^2 - (4 \times 0,4538853)}}{2} = 0,1970922$$

$$\beta_z = 1 - 0,5 \lambda \beta_x = 1 - (0,5 \times 0,8 \times 0,1970922) = 0,9211631$$

$$\beta_s = 1,000 \quad \langle 0,000 \leq \beta_x \leq \beta_{x,34} \rangle$$

$$A_s = \frac{M_{Rd}}{\beta_z d \beta_s f_{yd}} = \frac{12500}{0,9211631 \times 45 \times 1000 \times 43,5} = 6,9322100 \text{ cm}^2 \quad \blacktriangleleft$$

$$\beta_s = \left(\frac{\lambda \alpha_c b_w d f_{cd}}{A_s f_{yd}} \right) \beta_x = \left(\frac{0,8 \times 0,85 \times 20 \times 45 \times 2,50}{6,9322100 \times 43,5} \right) \times 0,1970922 = 1,0000000 \quad \blacktriangleleft$$

5.8 Disposição da armadura

A distribuição e o posicionamento corretos das armaduras dentro da seção transversal de uma viga constitui fator de suma importância para a durabilidade das estruturas de concreto. A disposição da armadura dentro da seção transversal da viga não pode obstruir a colocação do concreto fresco, devendo permitir, com relativa folga, a introdução de equipamentos de vibração (Figura 5.20).

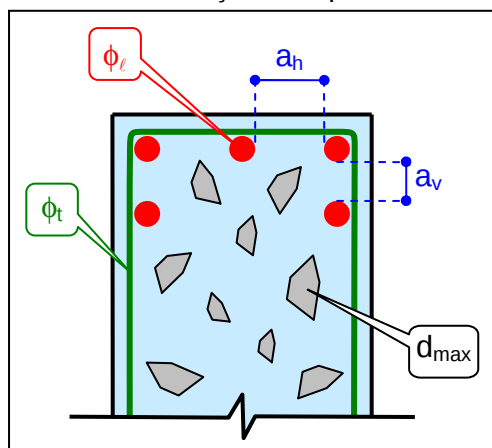


Figura 5.20 - Espaçamento horizontal e vertical de barras longitudinais

O espaçamento mínimo livre entre as faces das barras longitudinais, medido no plano da seção transversal, deve ser igual ou superior ao maior dos seguintes valores (ABNT NBR 6118 - 18.3.2.2):

- na direção horizontal (a_h):
 - ✓ 20 mm;
 - ✓ diâmetro da barra, do feixe ou da luva;
 - ✓ 1,2 vez a dimensão máxima característica do agregado graúdo;
- Na direção vertical (a_v):
 - ✓ 20 mm;
 - ✓ diâmetro da barra, do feixe ou da luva;
 - ✓ 0,5 vez a dimensão máxima característica do agregado graúdo;

Para feixes de barras deve-se considerar o diâmetro do feixe: $\phi_n = \phi \sqrt{n}$. Esses valores se aplicam também às regiões de emendas por traspasse das barras.”

$$a_h \geq \max \begin{bmatrix} 2 \text{ cm} \\ \phi_\ell \\ 1,2 d_{\max} \end{bmatrix}$$

$$a_v \geq \max \begin{bmatrix} 2 \text{ cm} \\ \phi_\ell \\ 0,5 d_{\max} \end{bmatrix}$$

Equação 5.27

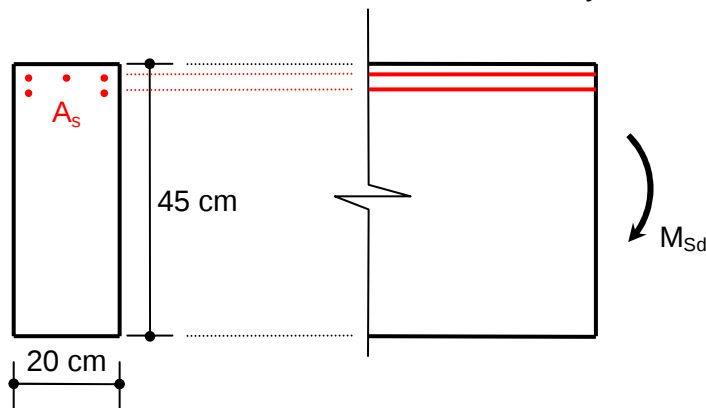
Exemplo 5.2: Determinar o máximo momento fletor solicitante de cálculo (M_{sd}) que a viga abaixo representada pode suportar.

Dados:

- concreto: C70;
- aço: CA-50;
- armadura longitudinal: 5 ϕ 16 mm;
- armadura transversal: 6,3 mm;
- cobrimento: 3 cm; e
- dimensão máxima do agregado: 19 mm.

Considerar:

- somente solicitações normais (momentos fletores); e
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$).



Solução: A solução do problema consiste na aplicação direta da Equação 5.26 e Equação 5.27, com o uso da tabela para concreto C35 e aço CA-50 (página 5-64).

a. Dados - uniformização de unidades (kN e cm)

$$f_{ck} = 70 \text{ MPa} = 7,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$\lambda = 0,8 - \left(\frac{f_{ck} - 50}{400} \right) \quad \langle f_{ck} > 50 \text{ MPa} \rangle$$

$$\lambda = 0,8 - \left(\frac{70 - 50}{400} \right) = 0,75$$

$$\alpha_c = 0,85 \left(1 - \frac{f_{ck} - 50}{200} \right) \quad \langle f_{ck} > 50 \text{ MPa} \rangle$$

$$\alpha_c = 0,85 \left[1 - \left(\frac{70 - 50}{200} \right) \right] = 0,765$$

$$\beta_{x,dll} = 0,35 \quad \langle f_{ck} > 50 \text{ MPa} \rangle$$

$$f_{ctk,sup} = 2,756 \ln(1 + 0,11 f_{ck}) \quad \langle f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \rangle$$

$$f_{ctk,sup} = 2,756 \ln[1 + (0,11 \times 70)] = 5,96 \text{ MPa} = 0,596 \text{ kN/cm}^2$$

$$\gamma_c = 1,40 \quad (\text{ELU - combinação normal})$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{7,0}{1,40} = 5,00 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa} = 50 \text{ kN/cm}^2$$

$$\gamma_s = 1,15 \quad (\text{ELU - combinação normal})$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{50}{1,15} = 43,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$b_w = 20 \text{ cm}$$

$$h = 45 \text{ cm}$$

$$A_c = b_w h = 20 \times 45 = 900 \text{ cm}^2$$

$$W_0 = \frac{b_w h^2}{6} = \frac{20 \times 45^2}{6} = 6750 \text{ cm}^3$$

$$c_{nom} = 3 \text{ cm}$$

$$d_{max} = 19 \text{ mm} = 1,9 \text{ cm}$$

$$\phi_t = 6,3 \text{ mm} = 0,63 \text{ cm}$$

$$\phi_\ell = 16 \text{ mm} = 1,6 \text{ cm}$$

$$A_{s,\min} = 0,15\% A_c = \frac{0,15}{100} \times 900 = 1,35 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,\max} = 4\% A_c = \frac{4}{100} \times 900 = 36,00 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,\text{ef}} = 5 \times \frac{\pi 16^2}{4} = 10,05 \text{ cm}^2 \left\{ \begin{array}{l} \geq 1,35 \text{ cm}^2 \\ \leq 36,00 \text{ cm}^2 \end{array} \right. \quad \text{😊}$$

$$M_{d,\min} = 0,8 W_0 f_{ctk,\text{sup}} = 0,8 \times 6750 \times 0,596 = 3218,40 \text{ kNcm}$$

b. Verificação de a_h e a_v

$$a_h = \frac{b_w - (2c_{\text{nom}} + 2\phi_t + n\phi_\ell)}{n-1}$$

b_w largura da viga (20 cm)

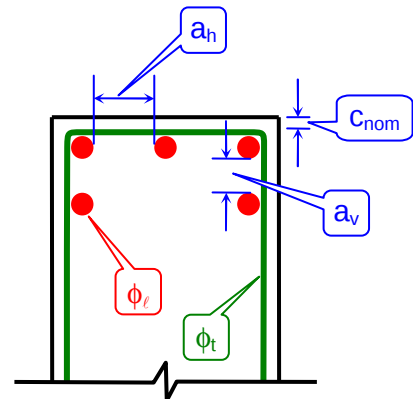
c_{nom} cobrimento nominal da armadura (3 cm)

ϕ_t diâmetro da armadura transversal (0,63 cm)

ϕ_ℓ diâmetro da armadura longitudinal (1,6 cm)

n número de barras na camada (3 barras)

$$a_h = \frac{20 - (2 \times 3,0 + 2 \times 0,63 + 3 \times 1,6)}{3-1} = 3,97 \text{ cm}$$



$$a_h \geq \max \left[\begin{array}{l} 2 \text{ cm} \\ \phi_\ell \\ 12 d_{\max} \end{array} \right] \geq \max \left[\begin{array}{l} 2 \text{ cm} \\ \phi_\ell = 1,6 \text{ cm} \\ 12 d_{\max} = 12 \times 1,9 = 2,28 \text{ cm} \end{array} \right] \geq 2,28 \text{ cm}$$

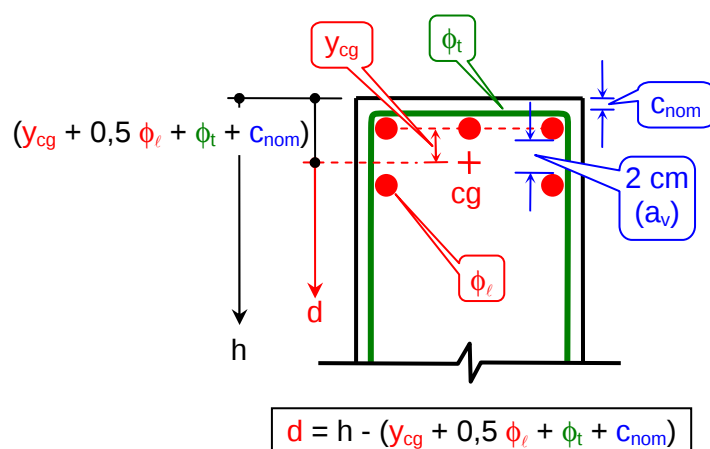
$$\underbrace{a_{h,\text{cal}}}_{3,97 \text{ cm}} > \underbrace{a_{h,\min}}_{2,28 \text{ cm}} \quad \text{😊}$$

$$a_v \geq \max \left[\begin{array}{l} 2 \text{ cm} \\ \phi_\ell \\ 0,5 d_{\max} \end{array} \right] \geq \max \left[\begin{array}{l} 2 \text{ cm} \\ \phi_\ell = 1,6 \text{ cm} \\ 0,5 d_{\max} = 0,5 \times 1,9 = 0,95 \text{ cm} \end{array} \right] \geq 2,0 \text{ cm} \quad (\text{adotado } a_v = 2,00 \text{ cm})$$

c. Determinação da altura útil (d)¹

$$y_{cg} < \frac{h}{10} < \frac{45}{10} < 4,5 \text{ cm}$$

$$y_{cg} = \frac{\sum A_{si} \times y_i}{\sum A_{si}}$$



$$d = h - (y_{cg} + 0,5 \phi_\ell + \phi_t + c_{\text{nom}})$$

¹ ABNT NBR 6118 - 17.2.4.1: "Os esforços nas armaduras podem ser considerados no centro de gravidade correspondente, se a distância deste centro de gravidade ao centro da armadura mais afastada, medida normalmente à linha neutra, for menor que 10% de h ." (Ver Figura 5.28, página 5-51)

$$y_{cg} = \frac{\left[3 \times \left(\frac{\pi \times 16^2}{4} \right) \times (0,0) \right] + \left[2 \times \left(\frac{\pi \times 16^2}{4} \right) \times \left(\frac{16}{2} + 2,0 + \frac{16}{2} \right) \right]}{\left[3 \times \left(\frac{\pi \times 16^2}{4} \right) \right] + \left[2 \times \left(\frac{\pi \times 16^2}{4} \right) \right]} = 1,44 \text{ cm} < 4,5 \text{ cm} \quad \text{😊}$$

$$d = h - \left(y_{cg} + \frac{\phi_\ell}{2} + \phi_t + c_{nom} \right)$$

$$d = 45 - \left(1,44 + \frac{16}{2} + 0,63 + 3,0 \right) = 39,13 \text{ cm}$$

d. Equação de verificação

$$\beta_s = \left(\frac{\lambda \alpha_c b_w d f_{cd}}{A_s f_{yd}} \right) \beta_x$$

$$\beta_s = \left(\frac{0,75 \times 0,765 \times 20 \times 39,13 \times 5,00}{10,05 \times 43,5} \right) \times \beta_x = 5,135 \beta_x$$

$$\beta_x = 0,195 \beta_s$$

1ª tentativa

$$\beta_x = 0,195 \text{ (admitindo } \beta_s = 1,000)$$

$$\beta_x = 0,195 \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow \text{tab} \begin{cases} \beta_z = 0,927 \\ \beta_c = 0,104 \\ \beta_s = 1,000 \end{cases}$$

$$\beta_s = 5,135 \beta_x = 5,135 \times 0,195 = 1,001 \cong 1,000 \quad \text{😊}$$

$$\underbrace{\beta_x}_{0,195} < \underbrace{\beta_{x,dtl}}_{0,350} \quad \text{😊}$$

e. Momento resistente de cálculo (M_{Rd})

$$M_{Rd} = \beta_c b_w d^2 f_{cd}$$

$$M_{Rd} = 0,104 \times 20 \times 39,13^2 \times 5,00 = 15924 \text{ kNcm} = 159,24 \text{ kNm}$$

verificação

$$A_s = \frac{M_{Rd}}{\beta_z d \beta_s f_{yd}} = \frac{15924}{0,927 \times 39,13 \times 1,000 \times 43,5} = 10,09 \text{ cm}^2 \cong 10,05 \text{ cm}^2 \quad \text{😊}$$

f. Momento solicitante de cálculo (M_{Sd})

$$M_{Sd} = M_{Rd} = 159,24 \text{ kNm} \quad \blacktriangleleft$$

5.9 Vigas de seção retangular com armadura de compressão

Conforme mostrado na Equação 5.26 (página 5-20), vigas com dimensões adequadas e sem armadura de compressão, tem comportamento dútil desde que sejam projetadas com a posição da linha neutra satisfazendo a condição de $\beta_x \leq \beta_{x,dtl}$.

A tentativa de sempre dimensionar vigas sem armadura de compressão nem sempre é possível. Momentos fletores solicitantes de maior porte podem necessitar que a posição de linha neutra se aproxime do domínio 4, ou mesmo que se situe neste domínio, de tal forma que a viga passe a ter um comportamento frágil ($\beta_x > \beta_{x,dtl}$).

A ductilidade das vigas pode ser sempre garantida com o uso de armadura de compressão, como mostrado na Figura 5.21. Para tal, basta forçar que a linha neutra fique posicionada no domínio 2 ou no domínio 3, impondo que $\beta_x \leq \beta_{x,dtl}$.

Embora possa ser atribuído para β_x qualquer valor compreendido entre 0,000 e $\beta_{x,dtl}$, é prática comum adotar para β_x o valor de $\beta_{x,dtl}$. Para adoção de valores de β_x inferiores a $\beta_{x,dtl}$ é

conveniente verificar qual deles conduzirá ao dimensionamento mais econômico, ou seja, aquele que levar a menor quantidade total de armadura (menor $A_s + A'_s$).

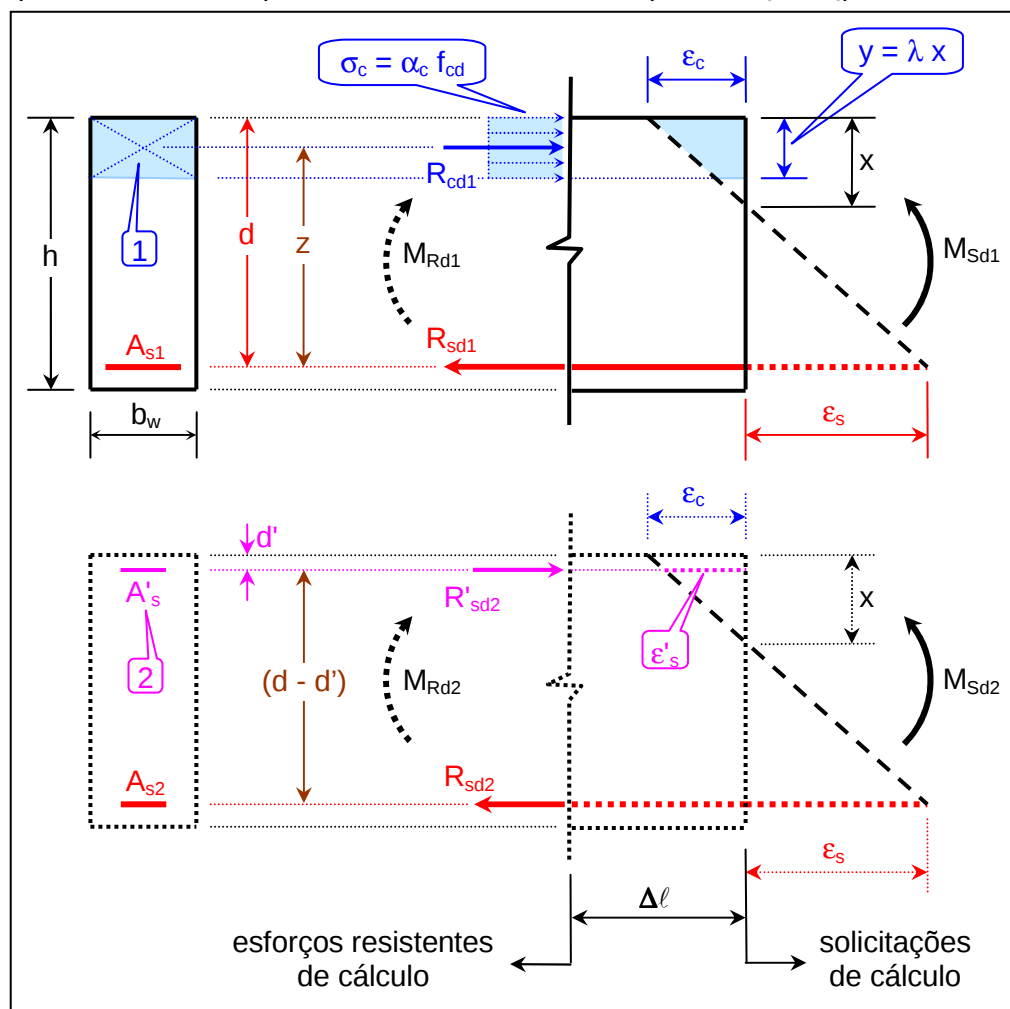


Figura 5.21 - Vigas de seção retangular com armadura de compressão

Como mostrado na Figura 5.21, o momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} ($M_{Rd} \geq M_{Sd}$) é composto por dois momentos M_{Rd1} e M_{Rd2} .

No que se refere a M_{Rd1} (parte superior da Figura) valem todas as considerações apresentadas em 5.7 (página 5-18), em especial, o contido na Equação 5.26 (página 5-20). Desta forma:

- binário M_{Rd1}/R_{cd1}

$$\beta_c = \frac{M_{Rd1}}{b_w d^2 f_{cd}}$$

- binário M_{Rd1}/R_{sd1}

$$A_{s1} = \frac{M_{Rd1}}{\beta_z d \beta_s f_{yd}}$$

- equilíbrio dos esforços resistentes de cálculo R_{cd1} e R_{sd1}

$$A_{s1} = \left(\frac{\lambda \alpha_c b_w d f_{cd}}{\beta_s f_{yd}} \right) \beta_x$$

No que se refere a M_{Rd2} (parte inferior da Figura 5.21), tem-se:

- esforço resistente de cálculo atuante na armadura tracionada

$$R_{sd2} = A_{s2} \sigma_s$$

$$R_{sd2} = A_{s2} \beta_s f_{yd}$$

$$R_{sd2} = \beta_s A_{s2} f_{yd}$$

- binário M_{Rd2}/R_{sd2}

$$M_{Rd2} = R_{sd2} (d - d')$$

$$M_{Rd2} = \beta_s A_{s2} f_{yd} (d - d')$$

$$A_{s2} = \frac{M_{Rd2}}{(d - d') \beta_s f_{yd}}$$
- esforço resistente de cálculo atuante na armadura comprimida

$$R'_{sd2} = A'_s \sigma'_s$$

$$R'_{sd2} = A'_s \beta'_s f_{yd}$$

$$R'_{sd2} = \beta'_s A'_s f_{yd}$$
- binário M_{Rd2}/R'_{sd2}

$$M_{Rd2} = R'_{sd2} (d - d')$$

$$M_{Rd2} = \beta'_s A'_s f_{yd} (d - d')$$

$$A'_s = \frac{M_{Rd2}}{(d - d') \beta'_s f_{yd}}$$
- equilíbrio dos esforços resistentes de cálculo R'_{sd2} e R_{sd2}

$$R'_{sd2} = \beta'_s A'_s f_{yd}$$

$$R_{sd2} = \beta_s A_{s2} f_{yd}$$

$$\beta_s A_{s2} f_{yd} = \beta'_s A'_s f_{yd}$$

$$A_{s2} = \frac{\beta'_s}{\beta_s} A'_s$$

Considerando a somatória dos esforços solicitantes e resistentes, tem-se:

- momento solicitante

$$M_{Sd} = M_{Sd1} + M_{Sd2}$$
- momento resistente

$$M_{Rd} = M_{Rd1} + M_{Rd2}$$
- armadura tracionada - 1ª consideração

$$A_s = A_{s1} + A_{s3}$$

$$A_s = \frac{M_{Rd1}}{\beta_z d \beta_s f_{yd}} + \frac{M_{Rd2}}{(d - d') \beta_s f_{yd}}$$

$$A_s = \left[\frac{M_{Rd1}}{\beta_z d} + \frac{M_{Rd2}}{(d - d')} \right] \frac{1}{\beta_s f_{yd}}$$
- armadura tracionada - 2ª consideração

$$A_s = A_{s1} + A_{s2}$$

$$A_s = \left(\frac{\lambda \alpha_c b_w d f_{cd}}{\beta_s f_{yd}} \right) \beta_x + \frac{\beta'_s}{\beta_s} A'_s$$

$$\beta_s = \left(\frac{\lambda \alpha_c b_w d f_{cd}}{A_s f_{yd}} \right) \beta_x + \left(\frac{A'_s}{A_s} \right) \beta'_s$$

– condições limites

✓ momento resistente (Equação 5.21, página 5-16)

$$M_{Rd} = \max \begin{bmatrix} M_{d,min} \\ M_{Sd} \end{bmatrix} = \max \begin{bmatrix} 0,8 W_0 f_{ctk,inf} \\ M_{Sd} \end{bmatrix}$$

✓ ductilidade (Equação 5.10, página 5-8)

$$\beta_x \leq \beta_{x,dtl} = \begin{cases} 0,450 & \langle f_{ck} \leq 50 \text{MPa} \rangle \\ 0,350 & \langle f_{ck} > 50 \text{MPa} \rangle \end{cases}$$

✓ armadura (Equação 5.23 e Equação 5.24, página 5-17)

$$A_s \begin{cases} \geq A_{s,min} \\ \leq A_{s,max} \end{cases}$$

– equações de cálculo com uso de tabelas

$$M_{Rd} = \max \begin{bmatrix} M_{d,min} \\ M_{Sd} \end{bmatrix} = \max \begin{bmatrix} 0,8 W_0 f_{ctk,sup} \\ M_{Sd} \end{bmatrix}$$

$$\beta_c = \frac{M_{Rd}}{b_w d^2 f_{cd}} \Rightarrow \text{tab} \begin{cases} \beta_x \\ \beta_z \\ \beta_s \end{cases}$$

$$\beta_x > \beta_{x,dtl} = \begin{cases} 0,450 & \langle f_{ck} \leq 50 \text{MPa} \rangle \\ 0,350 & \langle f_{ck} > 50 \text{MPa} \rangle \end{cases}$$

$\beta_x > \beta_{x,dtl} \rightarrow$
necessária
armadura de
compressão

$$\text{adotar} \begin{cases} \beta_x < \beta_{x,dtl} \\ \text{ou} \\ \beta_x = \beta_{x,dtl} \end{cases} \quad (\text{melhor solução})$$

$$\beta_x \Rightarrow \text{tab} \begin{cases} \beta_z \\ \beta_c \\ \beta_s \end{cases}$$

$$M_{Rd1} = \beta_c b_w d^2 f_{cd}$$

$$M_{Rd2} = M_{Rd} - M_{Rd1}$$

$$A_s = \left[\frac{M_{Rd1}}{\beta_z d} + \frac{M_{Rd2}}{(d - d')} \right] \frac{1}{\beta_s f_{yd}} \geq 0,15\% A_c$$

Equação 5.28

$$A'_s = \frac{M_{Rd2}}{(d - d') \beta'_s f_{yd}}$$

$$(A_s + A'_s) \leq 4\% A_c$$

$$\beta_s = \left(\frac{\lambda \alpha_c b_w d f_{cd}}{A_s f_{yd}} \right) \beta_x + \left(\frac{A'_s}{A_s} \right) \beta'_s$$

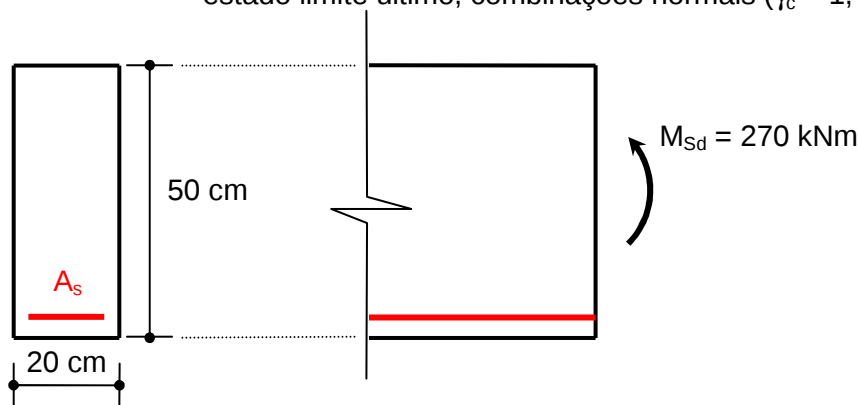
Exemplo 5.3: Determinar a armadura necessária para a viga abaixo indicada, a qual está submetida a um momento fletor solicitante de cálculo (M_{Sd}) igual a 270 kNm.

Dados:

- concreto: C35;
- aço: CA-50;
- armadura transversal: 6,3 mm;
- cobrimento: 3 cm; e
- dimensão máxima do agregado: 19 mm.

Considerar:

- somente solicitações normais (momentos fletores); e
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$).



Solução: A solução do problema consiste na aplicação da Equação 5.26 ou Equação 5.28, com o uso da tabela para concreto C35 e aço CA-50 (página 5-61).

a. Dados - uniformização de unidades (kN e cm)

$$f_{ck} = 35 \text{ MPa} = 3,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$\lambda = 0,80 \quad \langle f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \rangle$$

$$\alpha_c = 0,85 \quad \langle f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \rangle$$

$$\beta_{x,dli} = 0,45 \quad \langle f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \rangle$$

$$f_{ctk,sup} = 0,39 \times \sqrt[3]{f_{ck}^2} \quad \langle f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \rangle$$

$$f_{ctk,sup} = 0,39 \times \sqrt[3]{35^2} = 4,17 \text{ MPa} = 0,417 \text{ kN/cm}^2$$

$$\gamma_c = 1,40 \quad (\text{ELU - combinação normal})$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{3,5}{1,40} = 2,50 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa} = 50 \text{ kN/cm}^2$$

$$\gamma_s = 1,15 \quad (\text{ELU - combinação normal})$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{50}{1,15} = 43,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$b_w = 20 \text{ cm}$$

$$d = 45 \text{ cm (assumido)}$$

$$d' = 5 \text{ cm (assumido)}$$

$$\frac{d'}{d} = \frac{5}{45} = 0,111$$

$$h = 50 \text{ cm}$$

$$A_c = b_w h = 20 \times 50 = 1000 \text{ cm}^2$$

$$W_0 = \frac{b_w h^2}{6} = \frac{20 \times 50^2}{6} = 8333,33 \text{ cm}^3$$

$$c_{nom} = 3 \text{ cm}$$

$$\phi_t = 6,3 \text{ mm} = 0,63 \text{ cm}$$

$$d_{max} = 19 \text{ mm} = 1,9 \text{ cm}$$

$$M_{d,min} = 0,8 W_0 f_{ctk,sup} = 0,8 \times 8333,33 \times 0,417 = 2780,00 \text{ kNcm}$$

$$M_{Sd} = 270 \text{ kNm} = 27000 \text{ kNcm}$$

$$M_{Rd} = \max \begin{bmatrix} M_{d,min} \\ M_{Sd} \end{bmatrix} = \max \begin{bmatrix} 2780 \\ 27000 \end{bmatrix} = 27000 \text{ kNcm}$$

$$A_{s,min} = 0,15\% A_c = \frac{0,15}{100} \times 1000 = 1,50 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,max} = 4\% A_c = \frac{4}{100} \times 1000 = 40,00 \text{ cm}^2$$

b. Determinação de β_c

$$\beta_c = \frac{M_{Rd}}{b_w d^2 f_{cd}} = \frac{27000}{20 \times 45^2 \times 2,50} = 0,267 \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow \text{tab} \begin{cases} \beta_x = 0,487 \\ \beta_z = 0,805 \\ \beta_s = 1,000 \end{cases}$$

$$\beta_x = 0,487 > \beta_{x,dtl} = 0,450$$



$\beta_x > \beta_{x,dtl} \rightarrow$
necessária armadura
de compressão

c. Condição de utilidade

$$\beta_x = \beta_{x,dtl} = 0,450$$

$$\left. \begin{matrix} \beta_x = 0,450 \\ \frac{d'}{d} = 0,111 \end{matrix} \right\} \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow \text{tab} \begin{cases} \beta_z = 0,820 \\ \beta_c = 0,251 \\ \beta_s = 1,000 \\ \beta'_s = 1,000 \end{cases}$$



$$M_{Rd1} = \beta_c b_w d^2 f_{cd} = 0,251 \times 20 \times 45^2 \times 2,50 = 25413,75 \text{ kNcm}$$

$$M_{Rd2} = M_{Rd} - M_{Rd1} = 27000,00 - 25413,75 = 1586,25 \text{ kNcm}$$

$$A_s = \left[\frac{M_{Rd1}}{\beta_z d} + \frac{M_{Rd2}}{(d - d')} \right] \frac{1}{\beta_s f_{yd}} = \left[\frac{25413,75}{0,820 \times 45} + \frac{1586,25}{(45 - 5)} \right] \frac{1}{1000 \times 43,5} = 16,74 \text{ cm}^2 > 1,50 \text{ cm}^2$$



$$A'_s = \frac{M_{Rd2}}{(d - d') \beta'_s f_{yd}} = \frac{1586,25}{(45 - 5) \times 1000 \times 43,5} = 0,91 \text{ cm}^2$$

$$\beta_s = \left(\frac{\lambda \alpha_c b_w d f_{cd}}{A_s f_{yd}} \right) \beta_x + \left(\frac{A'_s}{A_s} \right) \beta'_s = \left(\frac{0,80 \times 0,85 \times 20 \times 45 \times 2,50}{16,74 \times 43,5} \right) \times 0,450 + \left(\frac{0,91}{16,74} \right) \times 1000 = 1000 \quad \text{😊}$$

$$A_{s,ef} = \begin{cases} 3 \phi 22 \text{ mm} = 3 \times \frac{\pi \times 2,2^2}{4} = 11,40 \text{ cm}^2 \\ + \\ 2 \phi 20 \text{ mm} = 2 \times \frac{\pi \times 2,0^2}{4} = 6,28 \text{ cm}^2 \end{cases} = 17,69 \text{ cm}^2 \text{ (2 camadas)}$$

$$A'_{s,ef} = 2 \phi 10 \text{ mm} = 2 \times \frac{\pi \times 1,00^2}{4} = 1,57 \text{ cm}^2$$

$$(A_s + A'_s)_{ef} = 17,69 + 1,57 = 19,26 \text{ cm}^2 < 40,00 \text{ cm}^2 \quad \text{😊}$$

$$A_{s,cal} = 16,74 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow A_{s,ef} = 17,69 \text{ cm}^2$$

$$A'_{s,cal} = 0,91 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow A'_{s,ef} = 1,57 \text{ cm}^2$$

d. Verificação de a_h e a_v

$$a_h = \frac{b_w - (2c_{nom} + 2\phi_t + n\phi_\ell)}{n - 1}$$

b_w largura da viga (20 cm)

c_{nom} cobrimento nominal da armadura (3 cm)

ϕ_t diâmetro da armadura transversal (estribo) (0,63 cm)

ϕ_ℓ diâmetro da armadura longitudinal (2,2 cm - 1ª camada)

n número de barras na camada (3 barras)

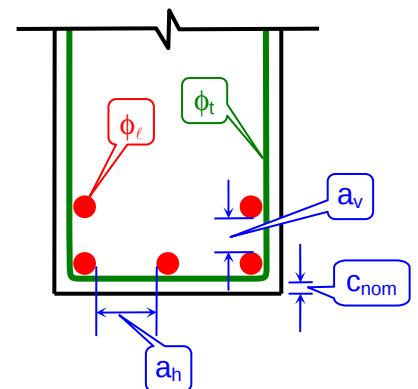
$$a_h = \frac{20 - (2 \times 3,0 + 2 \times 0,63 + 3 \times 2,2)}{3 - 1} = 3,07 \text{ cm}$$

$$a_h \geq \max \begin{bmatrix} 2 \text{ cm} \\ \phi_\ell \\ 12 d_{max} \end{bmatrix} \geq \max \begin{bmatrix} 2 \text{ cm} \\ \phi_\ell = 2,2 \text{ cm} \\ 12 d_{max} = 12 \times 1,9 = 2,28 \text{ cm} \end{bmatrix} \geq 2,28 \text{ cm}$$

$$\underbrace{a_{h,cal}}_{3,07 \text{ cm}} > \underbrace{a_{h,min}}_{2,28 \text{ cm}} \quad \text{😊}$$

$$a_v \geq \max \begin{bmatrix} 2 \text{ cm} \\ \phi_\ell \\ 0,5 d_{max} \end{bmatrix} \geq \max \begin{bmatrix} 2 \text{ cm} \\ \phi_\ell = 2,2 \text{ cm} \\ 0,5 d_{max} = 0,5 \times 1,9 = 0,95 \text{ cm} \end{bmatrix} \geq 2,20 \text{ cm}$$

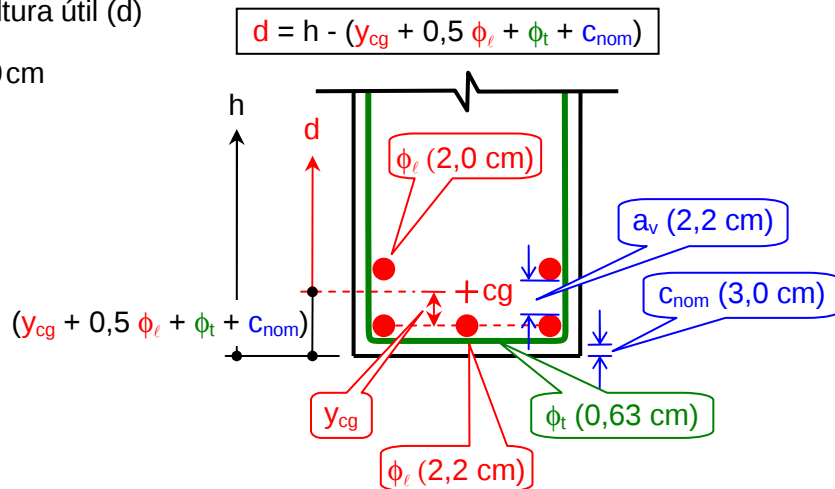
$$a_v = 2,2 \text{ cm (valor adotado)}$$



e. Determinação da altura útil (d)

$$y_{cg} < \frac{h}{10} < \frac{50}{10} < 5,0 \text{ cm}$$

$$y_{cg} = \frac{\sum A_{si} \times y_i}{\sum A_{si}}$$



$$y_{cg} = \frac{\left[3 \times \left(\frac{\pi \times 2,2^2}{4} \right) \times (0,0) \right] + \left[2 \times \left(\frac{\pi \times 2,0^2}{4} \right) \times \left(\frac{2,2}{2} + 2,2 + \frac{2,0}{2} \right) \right]}{\left[3 \times \left(\frac{\pi \times 2,2^2}{4} \right) \right] + \left[2 \times \left(\frac{\pi \times 2,0^2}{4} \right) \right]} = 1,53 \text{ cm} < 5,0 \text{ cm OK}$$

$$d = h - \left(y_{cg} + \frac{\phi_{\ell}}{2} + \phi_t + c_{nom} \right) = 50 - \left(1,53 + \frac{2,2}{2} + 0,63 + 3,0 \right) = 43,74 \text{ cm}$$

$$\underbrace{d_{adot}}_{45,00 \text{ cm}} > \underbrace{d_{cal}}_{43,74 \text{ cm}}$$



armadura mais próxima do centro de gravidade da seção geométrica → refazer os cálculos com d = 43,74 cm

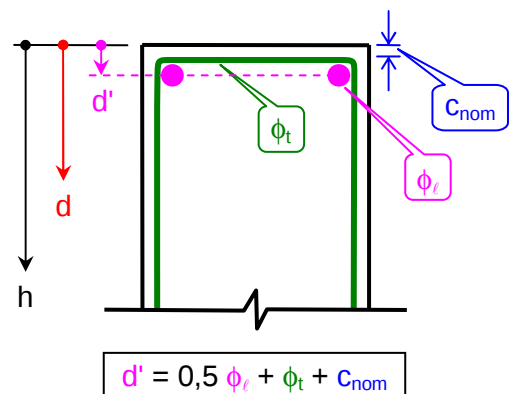
f. Determinação de d'

$$d' = \frac{\phi_{\ell}}{2} + \phi_t + c_{nom} = \frac{1,00}{2} + 0,63 + 3,0 = 4,13 \text{ cm}$$

$$\underbrace{d'_{adot}}_{5,00 \text{ cm}} > \underbrace{d'_{cal}}_{4,13 \text{ cm}}$$



armadura mais afastada do centro de gravidade da seção geométrica → não seria necessário refazer os cálculos com d' = 4,13 cm



g. Cálculo da armadura para novos valores de d e d'

$$d = 43,74 \text{ cm}$$

$$d' = 4,13 \text{ cm}$$

$$\frac{d'}{d} = \frac{4,13}{43,74} = 0,094$$

$$\beta_x = 0,450$$

$$\left. \begin{array}{l} \beta_x = 0,450 \\ \frac{d'}{d} = 0,094 \end{array} \right\} \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow \text{tab} \left\{ \begin{array}{l} \beta_z = 0,820 \\ \beta_c = 0,251 \\ \beta_s = 1,000 \\ \beta'_s = 1,000 \end{array} \right.$$



$$M_{Rd1} = \beta_c b_w d^2 f_{cd} = 0,251 \times 20 \times 43,74^2 \times 2,50 = 24010,50 \text{ kNcm}$$

$$M_{Rd2} = M_{Rd} - M_{Rd1} = 27000,00 - 24010,50 = 2989,50 \text{ kNcm}$$

$$A_s = \left[\frac{M_{Rd1}}{\beta_z d} + \frac{M_{Rd2}}{(d - d')} \right] \frac{1}{\beta_s f_{yd}}$$

$$A_s = \left[\frac{24010,50}{0,820 \times 43,74} + \frac{2989,50}{(43,74 - 4,13)} \right] \frac{1}{1000 \times 43,5} = 17,12 \text{ cm}^2 > 1,50 \text{ cm}^2 \quad \text{😊}$$

$$A'_s = \frac{M_{Rd2}}{(d - d') \beta'_s f_{yd}} = \frac{2989,50}{(43,74 - 4,13) \times 1000 \times 43,5} = 1,74 \text{ cm}^2$$

$$\beta_s = \left(\frac{\lambda \alpha_c b_w d f_{cd}}{A_s f_{yd}} \right) \beta_x + \left(\frac{A'_s}{A_s} \right) \beta'_s$$

$$\beta_s = \left(\frac{0,80 \times 0,85 \times 20 \times 43,74 \times 2,50}{17,12 \times 43,5} \right) \times 0,450 + \left(\frac{1,74}{17,12} \right) \times 1000 = 1000 \quad \text{😊}$$

$$A_{s,ef} = \begin{cases} 3 \phi 22 \text{ mm} = 3 \times \frac{\pi \times 2,2^2}{4} = 11,40 \text{ cm}^2 \\ + \\ 2 \phi 20 \text{ mm} = 2 \times \frac{\pi \times 2,0^2}{4} = 6,28 \text{ cm}^2 \end{cases} = 17,69 \text{ cm}^2 \text{ (2 camadas)}$$

$$A'_{s,ef} = 3 \phi 10 \text{ mm} = 3 \times \frac{\pi \times 1,00^2}{4} = 2,36 \text{ cm}^2$$

$$(A_s + A'_{s,ef})_{ef} = 17,69 + 2,36 = 20,05 \text{ cm}^2 < 40,00 \text{ cm}^2 \quad \text{😊}$$

$$A_{s,cal} = 17,12 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow A_{s,ef} = 17,69 \text{ cm}^2 \quad \blacktriangleleft$$

$$A'_{s,cal} = 1,74 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow A'_{s,ef} = 2,36 \text{ cm}^2 \quad \blacktriangleleft$$

h. Resolução para $\beta_x < \beta_{x,dll}$

$$\beta_x = 0,400 \text{ (valor assumido)}$$

$$d = 43,74 \text{ cm}$$

$$d' = 4,26 \text{ cm} \quad \longrightarrow \quad \text{precaução para possível uso de barras de 12,5 mm}$$

$$\frac{d'}{d} = \frac{4,26}{43,74} = 0,097$$

$$\left. \begin{array}{l} \beta_x = 0,400 \\ \frac{d'}{d} = 0,097 \end{array} \right\} \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow \text{tab} \left\{ \begin{array}{l} \beta_z = 0,840 \\ \beta_c = 0,228 \\ \beta_s = 1000 \\ \beta'_s = 1000 \end{array} \right. \quad \text{😊}$$

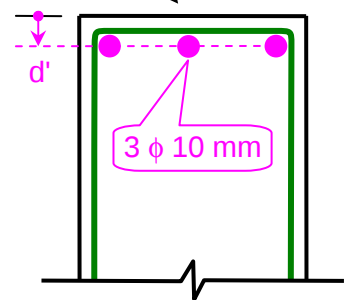
$$M_{Rd1} = \beta_c b_w d^2 f_{cd} = 0,228 \times 20 \times 43,74^2 \times 2,50 = 21810,34 \text{ kNcm}$$

$$M_{Rd2} = M_{Rd} - M_{Rd1} = 27000,00 - 21810,34 = 5189,66 \text{ kNcm}$$

$$A_s = \left[\frac{M_{Rd1}}{\beta_z d} + \frac{M_{Rd2}}{(d - d')} \right] \frac{1}{\beta_s f_{yd}}$$

$$A_s = \left[\frac{21810,34}{0,840 \times 43,74} + \frac{5189,66}{(43,74 - 4,26)} \right] \frac{1}{1000 \times 43,5} = 16,67 \text{ cm}^2 > 1,50 \text{ cm}^2 \quad \text{😊}$$

$$A'_s = \frac{M_{Rd2}}{(d - d') \beta'_s f_{yd}} = \frac{5189,66}{(43,74 - 4,26) \times 1000 \times 43,5} = 3,02 \text{ cm}^2$$



$$\beta_s = \left(\frac{\lambda \alpha_c b_w d f_{cd}}{A_s f_{yd}} \right) \beta_x + \left(\frac{A'_s}{A_s} \right) \beta'_s$$

$$\beta_s = \left(\frac{0,80 \times 0,85 \times 20 \times 43,74 \times 2,50}{16,67 \times 43,5} \right) \times 0,400 + \left(\frac{3,02}{16,67} \right) \times 1002 \cong 1000 \quad \text{😊}$$

$$A_{s,ef} = \begin{cases} 3 \phi 22\text{mm} = 3 \times \frac{\pi \times 2,2^2}{4} = 11,40 \text{ cm}^2 \\ + \\ 2 \phi 20\text{mm} = 2 \times \frac{\pi \times 2,0^2}{4} = 6,28 \text{ cm}^2 \end{cases} = 17,69 \text{ cm}^2 \text{ (2 camadas)}$$

$$A'_{s,ef} = 3 \phi 12,5\text{mm} = 3 \times \frac{\pi \times 1,25^2}{4} = 3,68 \text{ cm}^2$$

$$d' = \frac{\phi_\ell}{2} + \phi_t + c_{nom} = \frac{1,25}{2} + 0,63 + 3,0 = 4,26 \text{ cm} \quad \text{😊}$$

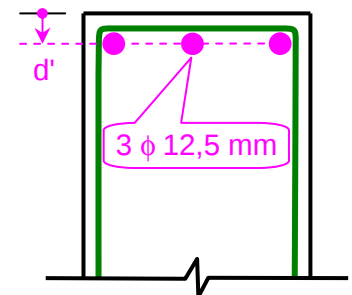
$$(A_s + A'_s)_{ef} = 17,69 + 3,68 = 21,37 \text{ cm}^2 < 40,00 \text{ cm}^2 \quad \text{😊}$$

$$A_{s,cal} = 16,67 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Rightarrow A_{s,ef} = 17,69 \text{ cm}^2 \quad \blacktriangleleft$$

$$A'_{s,cal} = 3,02 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Rightarrow A'_{s,ef} = 3,68 \text{ cm}^2 \quad \blacktriangleleft$$

i. Comparação de resultados (valores de cálculo)

β_x	A_s cm ²	A'_s cm ²	$A_s + A'_s$ cm ²	Δ
0,450	17,12	1,74	18,86	4,40%
0,400	16,67	3,02	19,69	



5.10 Vigas de seção T sem armadura de compressão

5.10.1 Região de concreto comprimido

A região de concreto comprimido, em uma viga de seção T, pode ocorrer de três modos distintos, como apresentado na Figura 5.22.

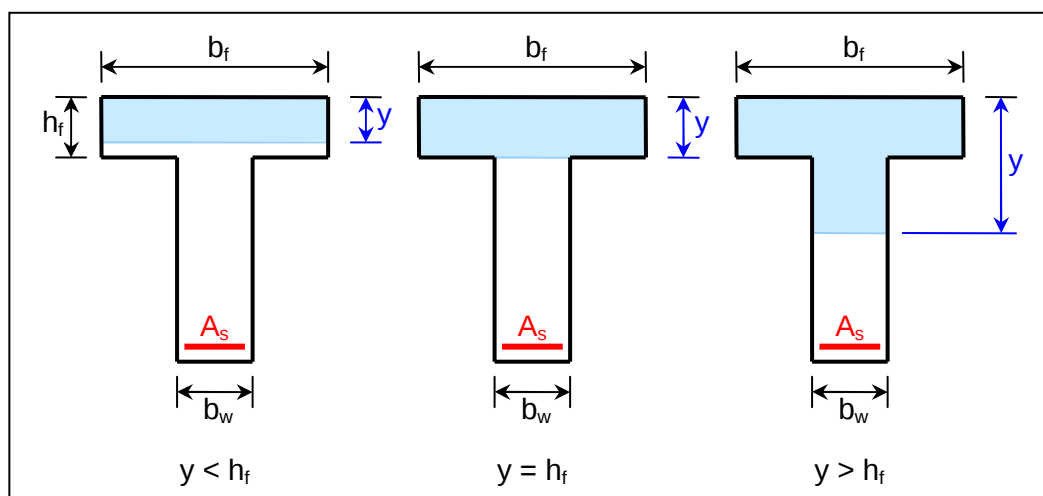


Figura 5.22 - Regiões de concreto comprimido em vigas de seção T

A situação em que toda a mesa está comprimida, corresponde a:

$$y = h_f$$

Considerando a Equação 5.11 (página 5-9), tem-se:

$$\beta_y = \frac{y}{d} = \frac{h_f}{d}$$

$$\beta_x = \frac{\beta_y}{\lambda} = \frac{h_f}{\lambda d}$$

$$\beta_c = \lambda \alpha_c \beta_x (1 - 0,5 \lambda \beta_x) = \lambda \alpha_c \left(\frac{h_f}{\lambda d} \right) \left[1 - 0,5 \lambda \left(\frac{h_f}{\lambda d} \right) \right] = \alpha_c \left(\frac{h_f}{d} \right) \left(d - \frac{h_f}{2} \right)$$

Levando-se em conta as condições estabelecidas na Figura 5.19 (página 5-18), cuja região comprimida é definida pelo retângulo de dimensões $b_w y$, tem-se, pela Equação 5.26 (página 5-20):

$$M_{Rd1} = \beta_c b_w d^2 f_{cd}$$

$$M_{Rd1} = \alpha_c \left(\frac{h_f}{d} \right) \left(d - \frac{h_f}{2} \right) b_w d^2 f_{cd} = \alpha_c (b_w h_f) \left(d - \frac{h_f}{2} \right) f_{cd}$$

No caso particular em que b_w (da Figura 5.19) for igual a b_f (da Figura 5.22), e definindo, para este caso, M_{Rd1} como sendo o momento resistente de cálculo suportado pela mesa comprimida da seção T, tem-se:

$$M_{Rd1} = M_{Rd,mesa} = \alpha_c (b_f h_f) \left(d - \frac{h_f}{2} \right) f_{cd}$$

$$M_{Rd,mesa} = \alpha_c (b_f h_f) \left(d - \frac{h_f}{2} \right) f_{cd}$$

Equação 5.29

Desta forma, para as regiões de concreto comprimido em vigas de seções T, têm-se:

$$y < h_f \Leftrightarrow M_{Rd} < M_{Rd,mesa}$$

$$y = h_f \Leftrightarrow M_{Rd} = M_{Rd,mesa}$$

$$y > h_f \Leftrightarrow M_{Rd} > M_{Rd,mesa}$$

Equação 5.30

5.10.2 Seções T sem armadura de compressão: $y \leq h_f$

Seja Figura 5.23 onde está representada uma viga de seção T em que a solicitação de cálculo M_{Sd} é resistida pelo momento resistente de cálculo M_{Rd} , composto somente pelo binário de forças R_{cd} e R_{sd} , sem a necessidade de armadura de compressão.

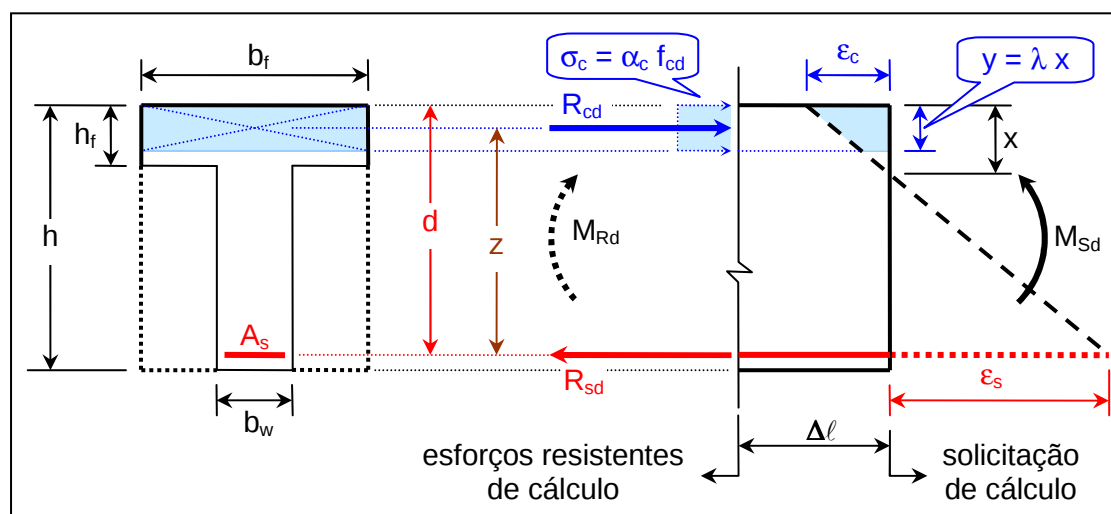


Figura 5.23 - Vigas de seção T sem armadura de compressão - $y \leq h_f$

Comparando a Figura 5.19 (página 5-18) com a Figura 5.23 pode-se concluir que a viga de seção T sem armadura de compressão, com $y \leq h_f$, é equivalente a uma viga de seção retangular de base b_f .

Desta forma, introduzindo valores de b_f nos lugares de b_w apresentados na Equação 5.26 (página 5-20), e considerando:

- a relação entre y e h_f (Equação 5.30);
- armadura mínima (Equação 5.23 - página 5-17); e
- armadura máxima (Equação 5.25 - página 5-18),

as vigas de seção T, sem armadura de compressão, com $y \leq h_f$, podem ser representadas por:

$$M_{Rd} = \max \begin{bmatrix} M_{d,min} \\ M_{Sd} \end{bmatrix} = \max \begin{bmatrix} 0,8 W_0 f_{ctk,sup} \\ M_{Sd} \end{bmatrix}$$

$$M_{Rd,mesa} = \alpha_c (b_f h_f) \left(d - \frac{h_f}{2} \right) f_{cd}$$

$$M_{Rd} \leq M_{Rd,mesa}$$


$M_{Rd} \leq M_{Rd,mesa} \rightarrow$
vale seção
retangular de base b_f

$$\beta_c = \frac{M_{Rd}}{b_f d^2 f_{cd}} \Rightarrow \text{tab} \begin{cases} \beta_x \\ \beta_y \\ \beta_z \\ \beta_s \end{cases}$$

$$\beta_x \leq \beta_{x,drl} = \begin{cases} 0,450 & \langle f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \rangle \\ 0,350 & \langle f_{ck} > 50 \text{ MPa} \rangle \end{cases}$$

$$y = \beta_y d \leq h_f$$

$$A_s = \frac{M_{Rd}}{\beta_z d \beta_s f_{yd}} \begin{cases} \geq A_{s,min} = 0,15\% A_c \\ \leq A_{s,max} = 4\% b_w h \end{cases}$$

$$\beta_s = \left(\frac{\lambda \alpha_c b_f d f_{cd}}{A_s f_{yd}} \right) \beta_x$$

Equação 5.31

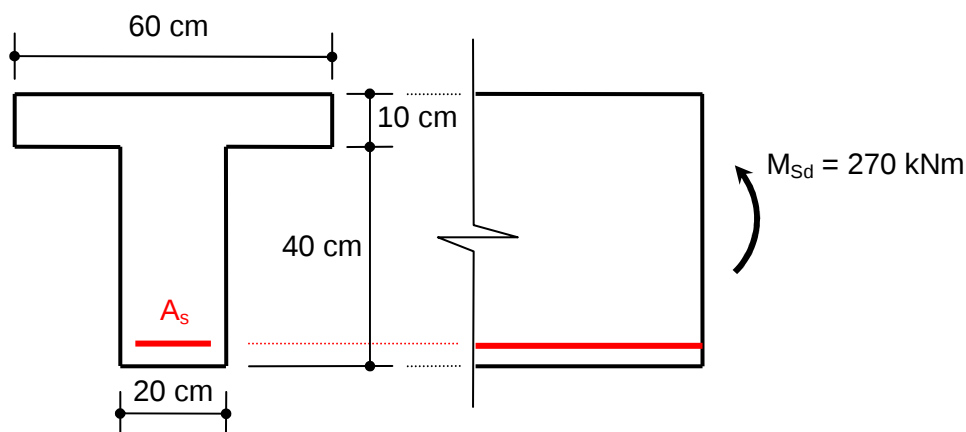
Exemplo 5.4: Determinar a armadura necessária para a viga abaixo indicada, a qual está submetida a um momento fletor solicitante de cálculo (M_{Sd}) igual a 270 kNm.

Dados:

- concreto: C35;
- aço: CA-50;
- armadura transversal: 6,3 mm;
- cobrimento: 3 cm; e
- dimensão máxima do agregado: 19 mm.

Considerar:

- somente solicitações normais (momentos fletores); e
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$).



Solução: A solução do problema consiste na aplicação direta da Equação 5.31, com o uso da tabela para concreto C35 e aço CA-50 (página 5-61).

a. Dados - uniformização de unidades (kN e cm)

$$f_{ck} = 35 \text{ MPa} = 3,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$\lambda = 0,80 \quad \langle f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \rangle$$

$$\alpha_c = 0,85 \quad \langle f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \rangle$$

$$\beta_{x,dtl} = 0,45 \quad \langle f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \rangle$$

$$f_{ctk,sup} = 0,39 \times \sqrt[3]{f_{ck}^2} \quad \langle f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \rangle$$

$$f_{ctk,sup} = 0,39 \times \sqrt[3]{35^2} = 4,17 \text{ MPa} = 0,417 \text{ kN/cm}^2$$

$$\gamma_c = 1,40 \quad (\text{ELU - combinação normal})$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{3,5}{1,40} = 2,50 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa} = 50 \text{ kN/cm}^2$$

$$\gamma_s = 1,15 \quad (\text{ELU - combinação normal})$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{50}{1,15} = 43,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$b_w = 20 \text{ cm}$$

$$b_f = 60 \text{ cm}$$

$$d = 43 \text{ cm} \quad (\text{assumido})$$

$$h = 50 \text{ cm}$$

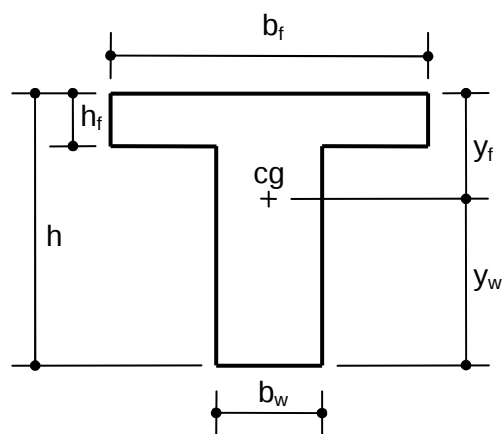
$$h_f = 10 \text{ cm}$$

$$A_c = b_w h + (b_f - b_w) h_f = 20 \times 50 + (60 - 20) \times 10 = 1400 \text{ cm}^2$$

$$y_w = \frac{(b_f h^2) - [(b_f - b_w)(h - h_f)^2]}{2\{[(b_f h) - [(b_f - b_w)(h - h_f)]\}} = \frac{(60 \times 50^2) - [(60 - 20) \times (50 - 10)^2]}{2\{[(60 \times 50) - [(60 - 20) \times (50 - 10)]\}} = 30,71 \text{ cm}$$

$$y_f = h - y_w = 50 - 30,71 = 19,29 \text{ cm}$$

$$I = \left\{ \frac{b_f h^3 - [(b_f - b_w)(h - h_f)^3]}{3} \right\} - A_c y_w^2$$



$$I = \left\{ \frac{60 \times 50^3 - [(60 - 20) \times (50 - 10)^3]}{3} \right\} - 1400 \times 30,71^2 = 326321 \text{ cm}^4$$

$$W_0 = W_{0,w} = \frac{I}{y_w} \Leftarrow \text{fibra mais tracionada (w)}$$

$$W_0 = \frac{326321}{30,71} = 10626 \text{ cm}^3$$

$$M_{Sd,min} = 0,8 W_0 f_{ctk,sup} = 0,8 \times 10626 \times 0,417 = 3544,83 \text{ kNcm}$$

$$M_{Sd} = 270 \text{ kNm} = 27000 \text{ kNcm}$$

$$M_{Rd} = \max \begin{bmatrix} M_{d,min} \\ M_{Sd} \end{bmatrix} = \max \begin{bmatrix} 3544,83 \\ 27000 \end{bmatrix} = 27000 \text{ kNcm}$$

$$A_{s,min} = 0,15\% A_c = \frac{0,15}{100} \times 1400 = 2,10 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,max} = 4\% b_w h = \frac{4}{100} \times 20 \times 50 = 40,00 \text{ cm}^2$$

$$M_{Rd,mesa} = \alpha_c (b_f h_f) \left(d - \frac{h_f}{2} \right) f_{cd} = 0,85 \times (60 \times 10) \times \left(43 - \frac{10}{2} \right) \times 2,50 = 48450 \text{ kNcm}$$

$$\frac{M_{Rd}}{27000} < \frac{M_{Rd,mesa}}{48450} \quad \text{😊} \quad \rightarrow \quad \text{vale seção retangular de base } b_f$$

b. Determinação de β_c

$$\beta_c = \frac{M_{Rd}}{b_f d^2 f_{cd}} = \frac{27000}{60 \times 43^2 \times 2,50} = 0,097 \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow \text{tab} \begin{cases} \beta_x = 0,152 \\ \beta_y = 0,122 \\ \beta_z = 0,939 \\ \beta_s = 1,000 \end{cases}$$

$$\beta_x < \beta_{x,dll} \quad \text{😊}$$

$$y = \beta_y d = 0,122 \times 43 = 5,25 \text{ cm}$$

$$y < h_f \quad \text{😊}$$

c. Cálculo da armadura A_s

$$A_s = \frac{M_{Rd}}{\beta_z d \beta_s f_{yd}} \begin{cases} \geq A_{s,min} \\ \leq A_{s,max} \end{cases}$$

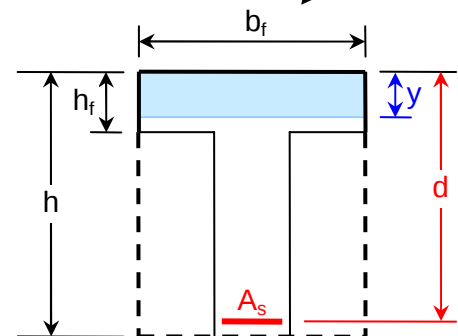
$$A_s = \frac{27000}{0,939 \times 43 \times 1,000 \times 43,5} = 15,37 \text{ cm}^2 \quad \left\{ \begin{array}{l} > 2,10 \text{ cm}^2 \\ < 40,0 \text{ cm}^2 \end{array} \right. \quad \text{😊}$$

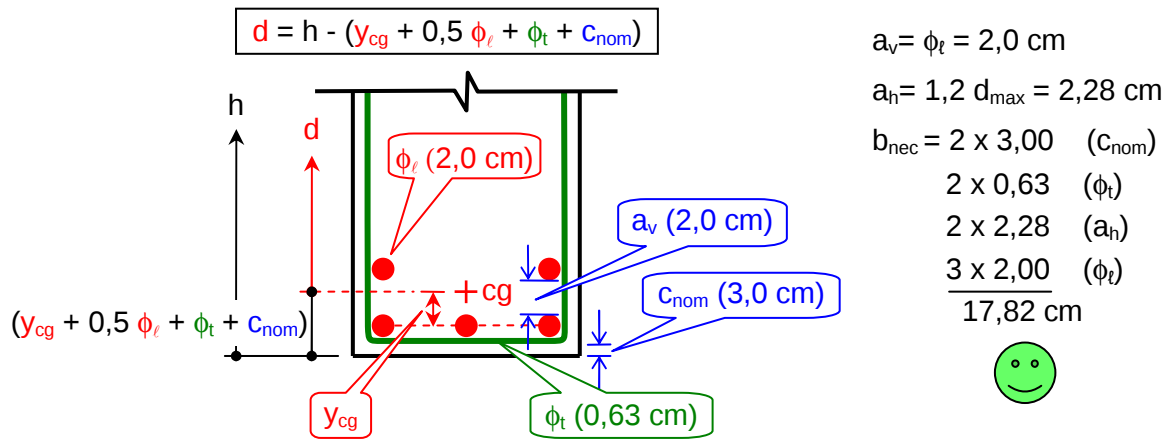
$$A_{s,cal} = 15,37 \text{ cm}^2 \quad \blacktriangleleft$$

$$A_{s,ef} = 5 \phi 20 \text{ mm} = 5 \times \frac{\pi \times 2,0^2}{4} = 15,71 \text{ cm}^2$$

d. Determinação da altura útil (d)

$$y_{cg} < \frac{h}{10} < \frac{50}{10} < 5,0 \text{ cm} \quad y_{cg} = \frac{\sum A_{si} \times y_i}{\sum A_{si}}$$





$$y_{cg} = \frac{[3 \times (0,0)] + \left[2 \times \left(\frac{2,0}{2} + 2,0 + \frac{2,0}{2} \right) \right]}{5} = 1,60 \text{ cm} < 5,0 \text{ cm OK}$$

$$d = h - \left(y_{cg} + \frac{\phi_\ell}{2} + \phi_t + c_{nom} \right) = 50 - \left(1,60 + \frac{2,0}{2} + 0,63 + 3,0 \right) = 43,77 \text{ cm}$$

$$\frac{d_{adot}}{43,00 \text{ cm}} < \frac{d_{cal}}{43,77 \text{ cm}}$$



armadura mais afastada do centro de gravidade da seção geométrica → não é necessário refazer os cálculos com $d = 43,77 \text{ cm}$

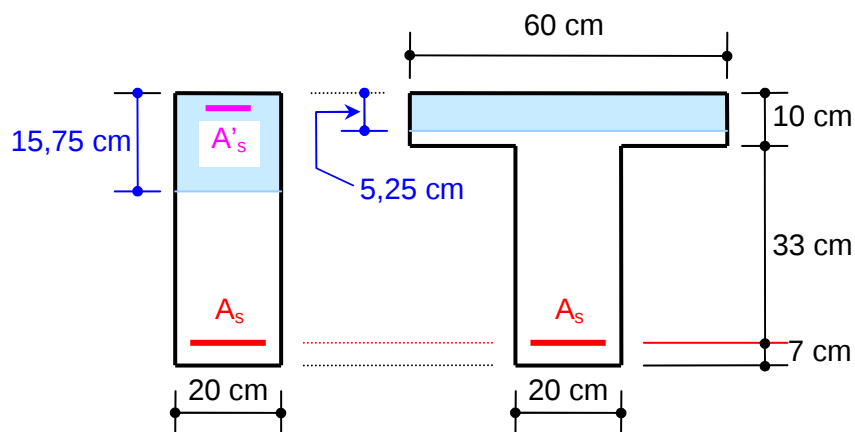
e. Verificação para valores de cálculo

$$\beta_s = \left(\frac{\lambda \alpha_c b_f d f_{cd}}{A_s f_{yd}} \right) \beta_x$$

$$\beta_s = \left(\frac{0,8 \times 0,85 \times 60 \times 43 \times 2,50}{15,37 \times 43,5} \right) \times 0,152 = 0,997 \cong 1,000 \quad \text{Smiley face icon}$$

f. Comparação com o Exemplo 5.3

$M_{Sd} = 270 \text{ kNm}$	Seção Retang.	Seção T	Δ
A_c	$1000,0 \text{ cm}^2$	$1400,0 \text{ cm}^2$	40,0%
A_{cc}	$315,0 \text{ cm}^2$	$315,0 \text{ cm}^2$	0,0%
A'_s	$2,36 \text{ cm}^2$	#	#
A_s	$17,69 \text{ cm}^2$	$15,37 \text{ cm}^2$	-13,1%
$A_s + A'_s$	$20,05 \text{ cm}^2$	$15,37 \text{ cm}^2$	-23,3%



$$A_s = 17,37 \text{ cm}^2$$

$$A'_s = 2,23 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 15,37 \text{ cm}^2$$

5.10.3 Seções T sem armadura de compressão: $y > h_f$

Seja Figura 5.24 onde está representada uma viga de seção T em que a solicitação de cálculo M_{Sd} ($M_{Sd} = M_{Sd1} + M_{Sd3}$) é resistida pelo momento resistente de cálculo M_{Rd} ($M_{Rd} = M_{Rd1} + M_{Rd3}$), composto pelos binários das forças R_{cd1} / R_{sd1} e R_{cd3} / R_{sd3} , sem a necessidade de armadura de compressão.

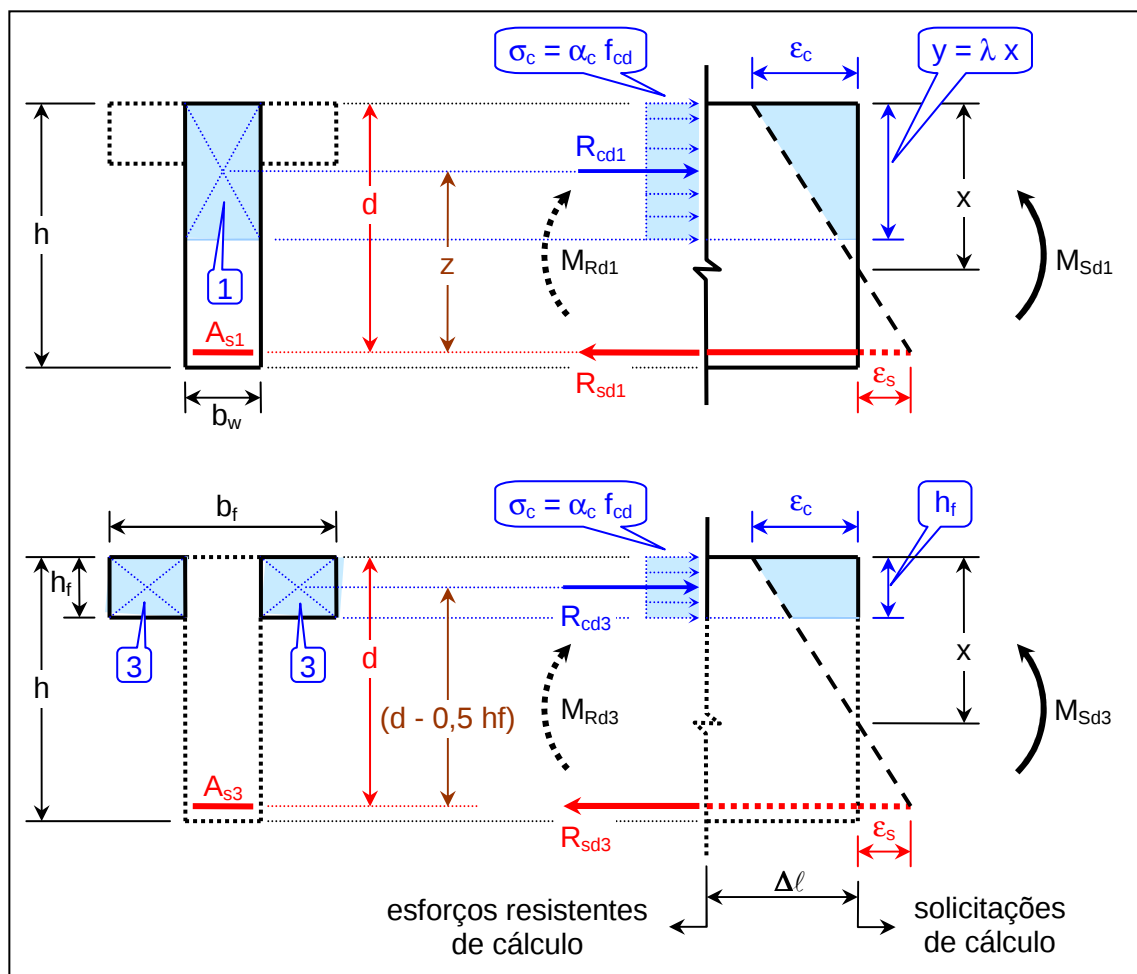


Figura 5.24 - Vigas de seção T sem armadura de compressão - $y > h_f$

Como mostrado na Figura 5.24, o momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} ($M_{Rd} \geq M_{Sd}$) é composto por dois momentos M_{Rd1} e M_{Rd3} .

No que se refere a M_{Rd1} (parte superior da Figura) valem todas as considerações apresentadas em 5.7 (página 5-18), em especial, o contido na Equação 5.26 (página 5-20). Desta forma:

- binário $M_{\text{Rd1}}/R_{\text{cd1}}$

$$\beta_c = \frac{M_{Rd1}}{b_w d^2 f_{cd}}$$

- binário $M_{\text{Rd1}}/R_{\text{sd1}}$

$$A_{s1} = \frac{M_{Rd1}}{\beta_z d \beta_s f_{yd}}$$

- equilíbrio dos esforços resistentes de cálculo R_{cd1} e R_{sd1}

$$A_{s1} = \left(\frac{\lambda \alpha_c b_w df_{cd}}{\beta_s f_{yd}} \right) \beta_x$$

No que se refere a M_{Rd3} (parte inferior da Figura), tem-se:

- esforço resistente de cálculo atuante na região de concreto comprimido de largura $b_f - b_w$

$$R_{cd3} = [(b_f - b_w) h_f] \sigma_c$$

$$R_{cd3} = [(b_f - b_w) h_f] (\alpha_c f_{cd})$$

- binário M_{Rd3}/R_{cd3}

$$M_{Rd3} = R_{cd3} \left(d - \frac{h_f}{2} \right)$$

$$M_{Rd3} = \alpha_c \left[(b_f - b_w) h_f \left(d - \frac{h_f}{2} \right) \right] f_{cd}$$

- esforço resistente de cálculo atuante na armadura tracionada

$$R_{sd3} = A_{s3} \sigma_s$$

$$R_{sd3} = A_{s3} \beta_s f_{yd}$$

$$R_{sd3} = \beta_s A_{s3} f_{yd}$$

- binário M_{Rd3}/R_{sd3}

$$M_{Rd3} = R_{sd3} \left(d - \frac{h_f}{2} \right)$$

$$M_{Rd3} = \beta_s A_{s3} f_{yd} \left(d - \frac{h_f}{2} \right)$$

$$A_{s3} = \frac{M_{Rd3}}{\left(d - \frac{h_f}{2} \right) \beta_s f_{yd}}$$

- equilíbrio dos esforços resistentes de cálculo R_{cd3} e R_{sd3}

$$R_{cd3} = [(b_f - b_w) h_f] (\alpha_c f_{cd})$$

$$R_{sd3} = \beta_s A_{s3} f_{yd}$$

$$\beta_s A_{s3} f_{yd} = \alpha_c [(b_f - b_w) h_f] f_{cd}$$

$$A_{s3} = \frac{\alpha_c [(b_f - b_w) h_f] f_{cd}}{\beta_s f_{yd}}$$

Considerando a somatória dos esforços solicitantes e resistentes, tem-se:

- momento solicitante

$$M_{Sd} = M_{Sd1} + M_{Sd3}$$

- momento resistente

$$M_{Rd} = M_{Rd1} + M_{Rd3}$$

- armadura tracionada - 1ª consideração

$$A_s = A_{s1} + A_{s3}$$

$$A_s = \frac{M_{Rd1}}{\beta_z d \beta_s f_{yd}} + \frac{M_{Rd3}}{\left(d - \frac{h_f}{2} \right) \beta_s f_{yd}}$$

$$A_s = \left[\frac{M_{Rd1}}{\beta_z d} + \frac{M_{Rd3}}{\left(d - \frac{h_f}{2} \right)} \right] \frac{1}{\beta_s f_{yd}}$$

- armadura tracionada - 2ª consideração

$$A_s = A_{s1} + A_{s3}$$

$$A_s = \left(\frac{\lambda \alpha_c b_w d f_{cd}}{\beta_s f_{yd}} \right) \beta_x + \frac{\alpha_c [(b_f - b_w) h_f] f_{cd}}{\beta_s f_{yd}}$$

$$\beta_s = \left(\frac{\lambda \alpha_c b_w d f_{cd}}{A_s f_{yd}} \right) \beta_x + \left\{ \frac{\alpha_c [(b_f - b_w) h_f] f_{cd}}{A_s f_{yd}} \right\}$$

– condições limites

✓ momento resistente (Equação 5.21, página 5-16)

$$M_{Rd} = \max \begin{bmatrix} M_{d,min} \\ M_{Sd} \end{bmatrix} = \max \begin{bmatrix} 0,8 W_0 f_{ctk,inf} \\ M_{Sd} \end{bmatrix}$$

✓ utilidade (Equação 5.10, página 5-8)

$$\beta_x \leq \beta_{x,dtl} = \begin{cases} 0,450 & \langle f_{ck} \leq 50 \text{MPa} \rangle \\ 0,350 & \langle f_{ck} > 50 \text{MPa} \rangle \end{cases}$$

✓ armadura (Equação 5.23 e Equação 5.24, página 5-17)

$$A_s \begin{cases} \geq A_{s,min} \\ \leq A_{s,max} \end{cases}$$

– equações de cálculo com uso de tabelas

$$M_{Rd} = \max \begin{bmatrix} M_{d,min} \\ M_{Sd} \end{bmatrix} = \max \begin{bmatrix} 0,8 W_0 f_{ctk,sup} \\ M_{Sd} \end{bmatrix}$$

$$M_{Rd,mesa} = \alpha_c (b_f h_f) \left(d - \frac{h_f}{2} \right) f_{cd}$$

$$M_{Rd} > M_{Rd,mesa}$$



$M_{Rd} > M_{Rd,mesa} \rightarrow$
cálculo como
seção T

$$M_{Rd3} = \alpha_c \left[(b_f - b_w) h_f \left(d - \frac{h_f}{2} \right) \right] f_{cd}$$

$$M_{Rd1} = M_{Rd} - M_{Rd3}$$

$$\beta_c = \frac{M_{Rd1}}{b_w d^2 f_{cd}} \Rightarrow \text{tab} \begin{cases} \beta_x \\ \beta_y \\ \beta_z \\ \beta_s \end{cases}$$

$$\beta_x \leq \beta_{x,dtl} = \begin{cases} 0,450 & \langle f_{ck} \leq 50 \text{MPa} \rangle \\ 0,350 & \langle f_{ck} > 50 \text{MPa} \rangle \end{cases}$$

$$y = \beta_y d > h_f$$

Equação 5.32

$$A_s = \left[\frac{M_{Rd1}}{\beta_z d} + \frac{M_{Rd3}}{\left(d - \frac{h_f}{2}\right)} \right] \frac{1}{\beta_s f_{yd}} \left\{ \begin{array}{l} \geq A_{s,min} = 0,15\% A_c \\ \leq A_{s,max} = 4\% b_w h \end{array} \right.$$

$$\beta_s = \left(\frac{\lambda \alpha_c b_w d f_{cd}}{A_s f_{yd}} \right) \beta_x + \left\{ \frac{\alpha_c [(b_f - b_w) h_f] f_{cd}}{A_s f_{yd}} \right\}$$

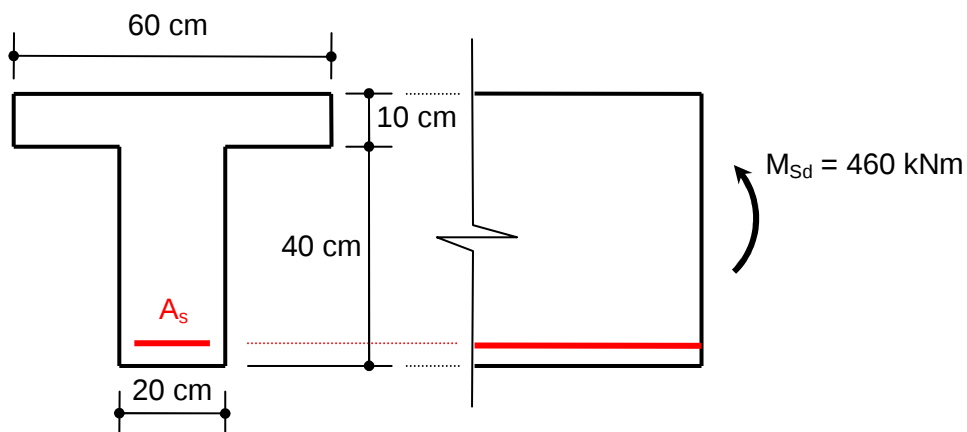
Exemplo 5.5: Determinar a armadura necessária para a viga abaixo indicada, a qual está submetida a um momento fletor solicitante de cálculo (M_{Sd}) igual a 460 kNm.

Dados:

- concreto: C35;
- aço: CA-50;
- armadura transversal: 6,3 mm;
- cobrimento: 3 cm; e
- dimensão máxima do agregado: 19 mm.

Considerar:

- somente solicitações normais (momentos fletores); e
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$).



Solução: A solução do problema consiste na aplicação direta da Equação 5.31 (página 5-37) ou Equação 5.32, com o uso da tabela para concreto C35 e aço CA-50 (página 5-61).

a. Dados - uniformização de unidades (kN e cm)

$$f_{ck} = 35 \text{ MPa} = 3,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$\lambda = 0,80 \quad \langle f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \rangle$$

$$\alpha_c = 0,85 \quad \langle f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \rangle$$

$$\beta_{x,dli} = 0,45 \quad \langle f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \rangle$$

$$f_{ctk,sup} = 0,39 \times \sqrt[3]{f_{ck}^2} \quad \langle f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \rangle$$

$$f_{ctk,sup} = 0,39 \times \sqrt[3]{35^2} = 4,17 \text{ MPa} = 0,417 \text{ kN/cm}^2$$

$$\gamma_c = 1,40 \quad (\text{ELU - combinação normal})$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{3,5}{1,40} = 2,50 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa} = 50 \text{ kN/cm}^2$$

$\gamma_s = 1,15$ (ELU - combinação normal)

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{50}{1,15} = 43,5 \text{ kN/cm}^2$$

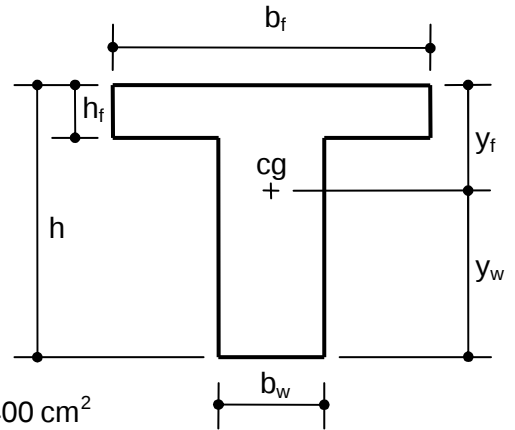
$$b_w = 20 \text{ cm}$$

$$b_f = 60 \text{ cm}$$

$$d = 40 \text{ cm (assumido)}$$

$$h = 50 \text{ cm}$$

$$h_f = 10 \text{ cm}$$



$$A_c = b_w h + (b_f - b_w) h_f = 20 \times 50 + (60 - 20) \times 10 = 1400 \text{ cm}^2$$

$$y_w = \frac{(b_f h^2) - [(b_f - b_w)(h - h_f)^2]}{2[(b_f h) - [(b_f - b_w)(h - h_f)]]} = \frac{(60 \times 50^2) - [(60 - 20) \times (50 - 10)^2]}{2[(60 \times 50) - [(60 - 20) \times (50 - 10)]]} = 30,71 \text{ cm}$$

$$y_f = h - y_w = 50 - 30,71 = 19,29 \text{ cm}$$

$$I = \left\{ \frac{b_f h^3 - [(b_f - b_w)(h - h_f)^3]}{3} \right\} - A_c y_w^2$$

$$I = \left\{ \frac{60 \times 50^3 - [(60 - 20) \times (50 - 10)^3]}{3} \right\} - 1400 \times 30,71^2 = 326321 \text{ cm}^4$$

$$W_0 = W_{0,w} = \frac{I}{y_w} \Leftarrow \text{fibra mais tracionada (w)}$$

$$W_0 = \frac{326321}{30,71} = 10626 \text{ cm}^3$$

$$M_{Sd,min} = 0,8 W_0 f_{ctk,sup} = 0,8 \times 10626 \times 0,417 = 3544,83 \text{ kNcm}$$

$$M_{Sd} = 460 \text{ kNm} = 46000 \text{ kNcm}$$

$$M_{Rd} = \max \begin{bmatrix} M_{d,min} \\ M_{Sd} \end{bmatrix} = \max \begin{bmatrix} 3544,83 \\ 46000 \end{bmatrix} = 46000 \text{ kNcm}$$

$$A_{s,min} = 0,15\% A_c = \frac{0,15}{100} \times 1400 = 2,10 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,max} = 4\% b_w h = \frac{4}{100} \times 20 \times 50 = 40,00 \text{ cm}^2$$

$$M_{Rd,mesa} = \alpha_c (b_f h_f) \left(d - \frac{h_f}{2} \right) f_{cd} = 0,85 \times (60 \times 10) \times \left(40 - \frac{10}{2} \right) \times 2,50 = 44625 \text{ kNcm}$$

$$\underbrace{M_{Rd}}_{46000} > \underbrace{M_{Rd,mesa}}_{44625} \quad \text{☹️} \quad \rightarrow \quad \text{cálculo como seção T}$$

b. Momentos resistentes

$$M_{Rd3} = \alpha_c \left[(b_f - b_w) h_f \left(d - \frac{h_f}{2} \right) \right] f_{cd}$$

$$M_{Rd3} = 0,85 \times \left[(60 - 20) \times 10 \times \left(40 - \frac{10}{2} \right) \right] \times 2,50 = 29750 \text{ kNcm}$$

$$M_{Rd1} = M_{Rd} - M_{Rd3} = 46000 - 29750 = 16250 \text{ kNcm}$$

c. Determinação de β_c

$$\beta_c = \frac{M_{Rd1}}{b_w d^2 f_{cd}} = \frac{16250}{20 \times 40^2 \times 2,50} = 0,203 \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow \text{tab} \begin{cases} \beta_x = 0,347 \\ \beta_y = 0,277 \\ \beta_z = 0,861 \\ \beta_s = 1,000 \end{cases}$$

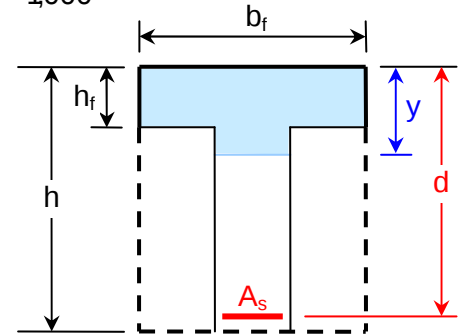
$$\beta_x < \beta_{x,ddl} \quad \text{😊}$$

$\frac{0,347}{0,450}$

$$y = \beta_y d = 0,277 \times 40 = 11,08 \text{ cm}$$

$$y > h_f \quad \text{😊}$$

$\frac{11,08 \text{ cm}}{10,00 \text{ cm}}$



d. Cálculo da armadura A_s

$$A_s = \left[\frac{M_{Rd1}}{\beta_z d} + \frac{M_{Rd3}}{\left(d - \frac{h_f}{2}\right)} \right] \frac{1}{\beta_s f_{yd}} \begin{cases} \geq A_{s,min} \\ \leq A_{s,max} \end{cases}$$

$$A_s = \left[\frac{16250}{0,861 \times 40} + \frac{29750}{\left(40 - \frac{10}{2}\right)} \right] \frac{1}{1,000 \times 43,5} = 30,39 \text{ cm}^2 \begin{cases} \geq 2,10 \text{ cm}^2 \\ \leq 40,00 \text{ cm}^2 \end{cases} \quad \text{😊}$$

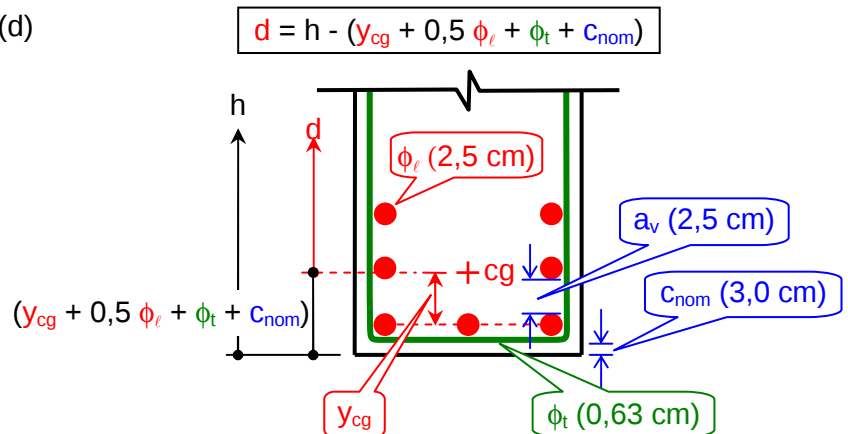
$$A_{s,cal} = 30,39 \text{ cm}^2 \blacktriangleleft$$

$$A_{s,ef} = 7 \phi 25 \text{ mm} = 7 \times \frac{\pi \times 2,5^2}{4} = 34,36 \text{ cm}^2$$

e. Determinação da altura útil (d)

$$y_{cg} < \frac{h}{10} < \frac{50}{10} < 5,0 \text{ cm}$$

$$y_{cg} = \frac{\sum A_{si} \times y_i}{\sum A_{si}}$$



$$b_{nec} = (2 \times 3,0) + (2 \times 0,63) + (5 \times 2,5) = 19,76 \text{ cm} < 20 \text{ cm} \quad \text{😊}$$

cobrimento

estribo

cinco barras
(duas virtuais
entre três reais)

b_w

$$y_{cg} = \frac{[3 \times (0,0)] + \left[2 \times \left(\frac{2,5}{2} + 2,5 + \frac{2,5}{2} \right) \right] + \left[2 \times \left(\frac{2,5}{2} + 7,5 + \frac{2,5}{2} \right) \right]}{7} = 4,29 \text{ cm} < 5,0 \text{ cm}$$

$$d = h - \left(y_{cg} + \frac{\phi_l}{2} + \phi_t + c_{nom} \right) = 50 - \left(4,29 + \frac{2,5}{2} + 0,63 + 3,0 \right) = 40,83 \text{ cm}$$

Figura 5.25, só poderá ser considerada como seção T, quando a mesa estiver comprimida. Caso contrário (mesa tracionada), a viga deverá ser considerada como de seção retangular de base b_w .

De modo geral, pode se dizer que a seção T, com a mesa posicionada na parte superior da viga (T em pé), pode ser usada para o dimensionamento da armadura longitudinal positiva (momentos fletores positivos da viga V3 da Figura 5.25).

Eventualmente, em construções com lajes rebaixadas (apoiadas na base da viga), é possível configurar-se seções $\perp$ (T invertido da viga V4 da Figura 5.25). Nestes casos, estas seções poderiam ser usadas no dimensionamento da armadura longitudinal negativa (momentos fletores negativos, se houverem, na viga V4 da Figura 5.25).

5.11.2 Largura colaborante de vigas de seção T

5.11.2.1 Distância entre pontos de momentos fletores nulos

A consideração da largura colaborante da laje associada à viga (Figura 5.25) deve obedecer às prescrições da ABNT NBR 6118.

ABNT NBR 6118, item 14.6.2.2:

“A largura colaborante b_f deve ser dada pela largura da viga b_w acrescida de no máximo 10% da distância a entre pontos de momento fletor nulo, para cada lado da viga em que haja laje colaborante.

A distância a pode ser estimada, em função do comprimento ℓ do tramo considerado, como se apresenta a seguir:

- viga simplesmente apoiada: $a = 1,00 \ell$;
- viga com momento em uma só extremidade: $a = 0,75 \ell$;
- viga com momento nas duas extremidades: $a = 0,60 \ell$;
- viga em balanço: $a = 2,00 \ell$.

Alternativamente, o cômputo da distância a pode ser feito ou verificado mediante exame dos diagramas de momentos fletores na estrutura.

No caso de vigas contínuas, permite-se calculá-las com uma largura colaborante única para todas as seções, inclusive nos apoios sob momentos negativos, desde que essa largura seja calculada a partir do trecho de momentos positivos onde a largura resulte mínima.”

Os valores de a podem ser estabelecidos como:

$a = \ell$	⟨viga simplesmente apoiada⟩
$a = 0,75 \ell$	⟨viga com momento em uma só extremidade⟩
$a = 0,60 \ell$	⟨viga com momento nas duas extremidades⟩
$a = 2 \ell$	⟨viga em balanço⟩

Equação 5.33

A Figura 5.26 mostra os valores simplificados de a , como estabelecidos pela ABNT NBR 6118.

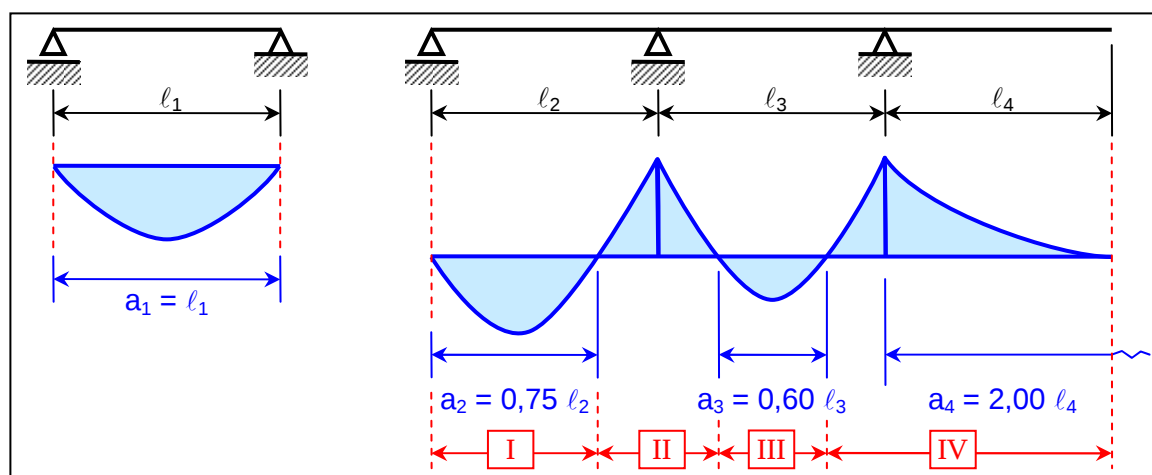


Figura 5.26 - Distância entre pontos de momento fletor nulo

Deve ser observado na Figura 5.26 que para a viga isostática (ℓ_1) só tem sentido o uso de seções T com a mesa posicionada na parte superior da viga (T em pé), pois nesta viga só atuam momentos fletores positivos. Neste caso:

$$a = a_1 = \ell_1$$

Para a viga contínua ($\ell_2 + \ell_3 + \ell_4$), as seções T com a mesa posicionada na parte superior da viga (T em pé) podem ser admitidas nos trechos I e III, onde atuam momentos fletores positivos. As seções $\perp$ com a mesa posicionada na parte inferior da viga (T invertido) podem ser admitidas nos trechos II e IV, onde atuam momentos fletores negativos.

Para o caso em que a viga contínua mostrada na Figura 5.26 tiver, em toda sua extensão, seção transversal em forma de T com a mesa posicionada na parte superior da viga (T em pé), na determinação do valor de b_f (a ser usado no dimensionamento dos momentos fletores positivos dos trechos I e III), deve ser tomado para a o menor dos seguintes valores:

$$a \leq \begin{cases} a_2 = 0,75 \ell_2 \\ a_3 = 0,60 \ell_3 \end{cases}$$

Para o caso em que a viga contínua mostrada na Figura 5.26 tiver, em toda sua extensão, seção transversal em forma de $\perp$ com a mesa posicionada na parte inferior da viga (T invertido), na determinação do valor de b_f (a ser usado no dimensionamento dos momentos fletores negativos dos trechos II e IV), deve ser tomado para a o menor dos seguintes valores:

$$a \leq \begin{cases} 0,25 \ell_2 + 0,20 \ell_3 \\ 0,20 \ell_3 + 2,00 \ell_4 \end{cases}$$

5.11.2.2 Vigas isoladas e painel de vigas

Na determinação de b_f não pode ser apenas considerada a distância a entre os pontos de momento fletor nulo, como apresentado em 5.11.2.1. Algumas disposições decorrentes da própria natureza da viga, ou do conjunto delas, devem ser consideradas, como mostrado na Figura 5.27.

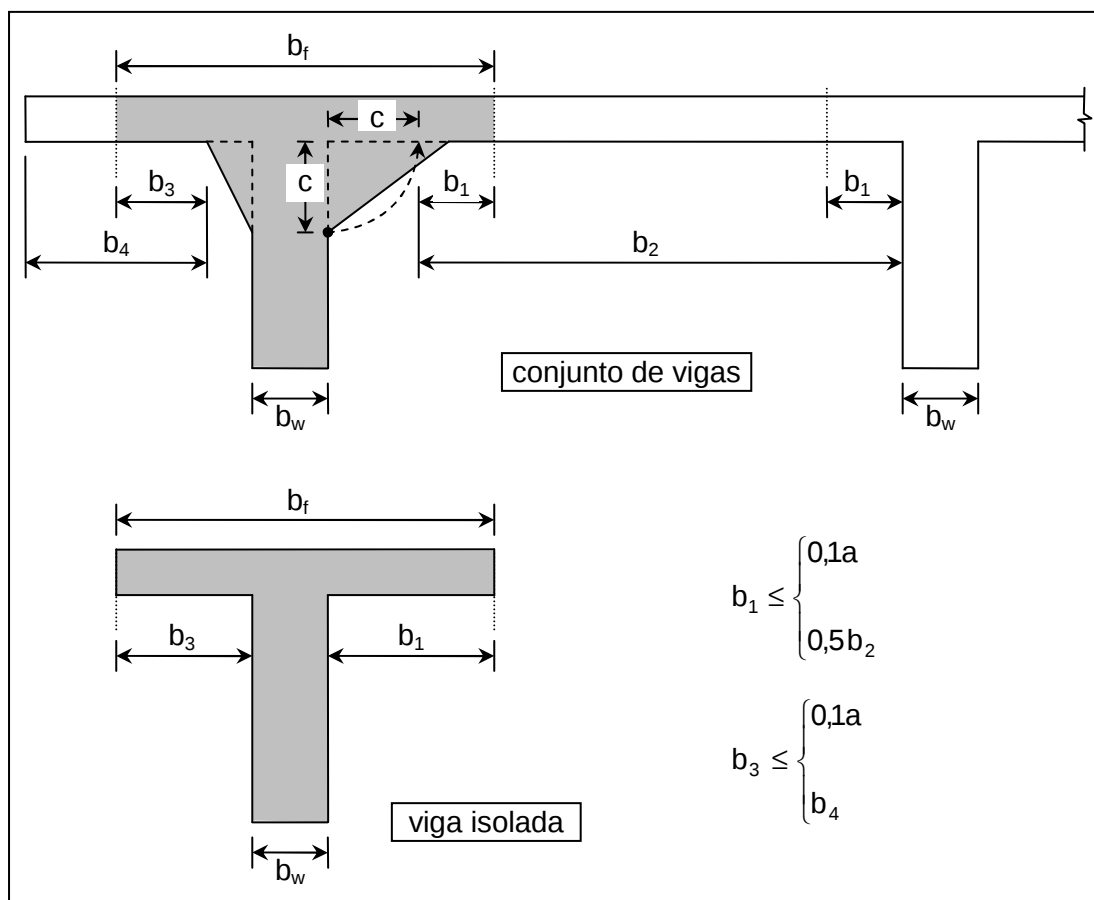


Figura 5.27 - Largura de mesa colaborante

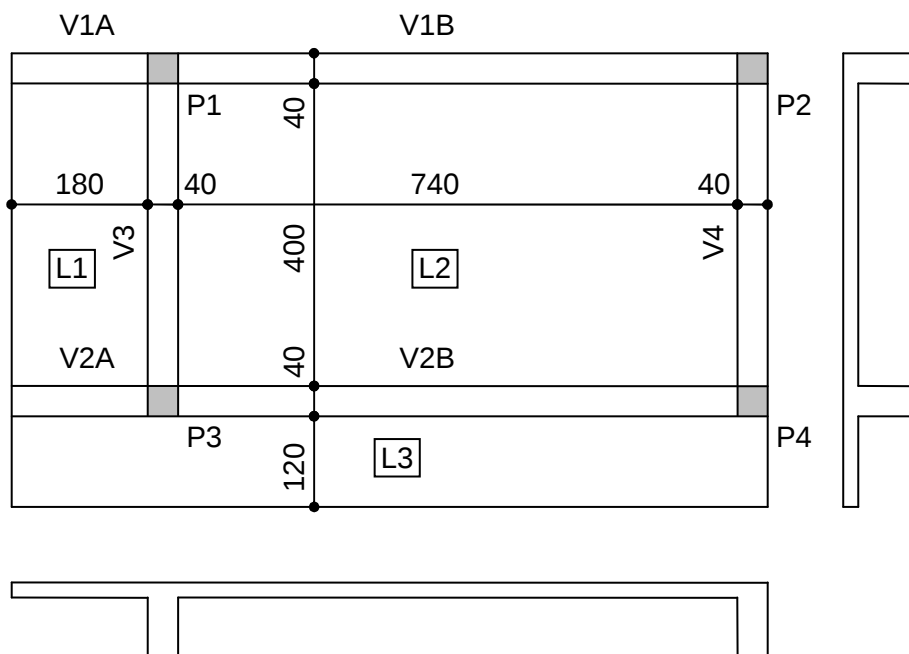
As relações entre os valores de a mostrados na Figura 5.26 e os valores de b_f apresentados na Figura 5.27 correspondem a:

$$b_1 \leq \begin{cases} 0,1a \\ 0,5b_2 \end{cases} \quad b_3 \leq \begin{cases} 0,1a \\ b_4 \end{cases}$$

Equação 5.34

Exemplo 5.6: Determinar o valor de b_f para a viga V2.

Considerar vigas simplesmente apoiadas nos pilares.

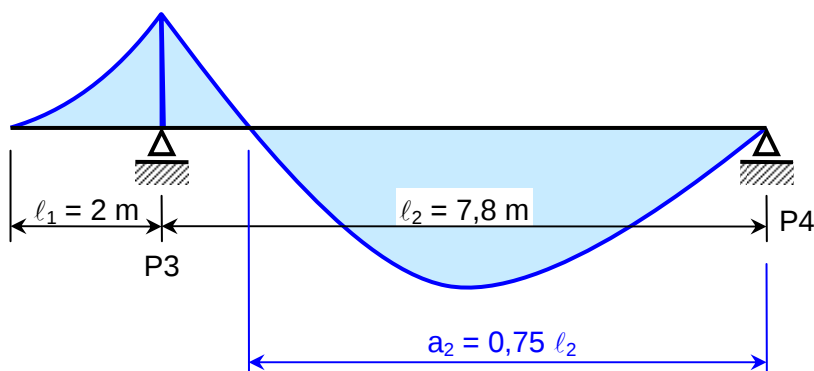


Solução: A solução do problema consiste na aplicação direta da Equação 5.33 e da Equação 5.34.

a. Definição de a (vista longitudinal de V2)

$$a = a_2 = 0,75 \ell_2$$

$$a = 0,75 \times 780 = 585 \text{ cm}$$



b. Definição de b_f (seção transversal de V2)

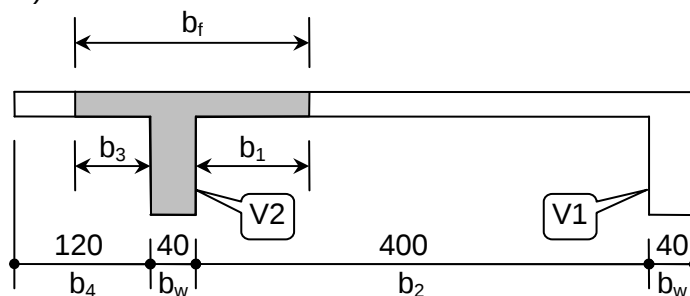
$$b_2 = 400 \text{ cm}$$

$$b_4 = 120 \text{ cm}$$

$$b_1 \leq \begin{cases} 0,1a \\ 0,5b_2 \end{cases}$$

$$b_1 \leq \begin{cases} 0,1 \times 585 = 58,5 \text{ cm} \Leftarrow \\ 0,5b_2 = 0,5 \times 400 = 200 \text{ cm} \end{cases}$$

$$b_3 \leq \begin{cases} 0,1a \\ b_4 \end{cases}$$



$$b_3 \leq \begin{cases} 0,1 \times 585 = 58,5 \text{ cm} \Leftarrow \\ 120 \text{ cm} \end{cases}$$

$$b_f = b_3 + b_w + b_1$$

$$b_f = 58,5 + 40 + 58,5 = 157 \text{ cm}$$

$$b_f = 157 \text{ cm} \blacktriangleleft$$

5.12 Disposições construtivas

5.12.1 Dimensões limites

As vigas de concreto armado, de modo geral, não devem possuir largura inferior a 12 cm.

ABNT NBR 6118, item 13.2.2:

"A seção transversal das vigas não deve apresentar largura menor que 12 cm e das vigas-parede, menor que 15 cm. Estes limites podem ser reduzidos, respeitado um mínimo absoluto de 10 cm em caso excepcionais, sendo obrigatoriamente respeitadas as seguintes condições:

- *alojamento das armaduras e suas interferências com as armaduras de outros elementos estruturais, respeitando os espaçamentos e coberturas estabelecidos nesta Norma;*
- *lançamento e vibração do concreto de acordo com a ABNT NBR 14931."*

5.12.2 Concentração de armaduras

Os esforços nas armaduras, tracionadas ou comprimidas, podem ser considerados concentrados no centro de gravidade correspondente (Figura 5.28), se a distância deste centro de gravidade ao centro da armadura mais afastada, medida normalmente à linha neutra, for menor que 10% h (ABNT NBR 6118 - 17.2.4.1).

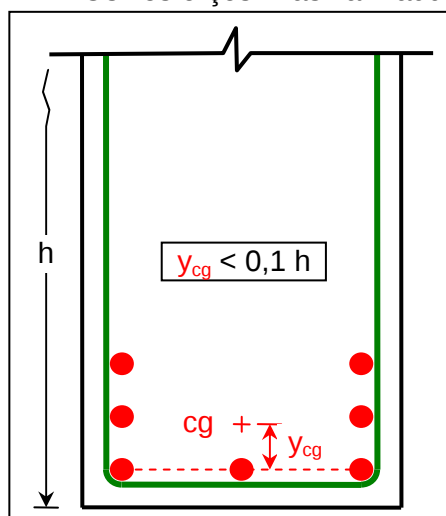


Figura 5.28 - Centro de gravidade de armaduras

5.12.3 Armadura de tração nas seções de apoio

Segundo o item 18.3.2.4 da ABNT NBR 6118, as armaduras longitudinais positivas de vigas devem ser prolongadas até os apoios (Figura 5.29), de tal forma que:

- $A_{s,apoio} \geq 0,33 A_{s,v\tilde{a}o}$, se M_{apoio} for nulo ou negativo de valor absoluto $|M_{apoio}| \leq 0,5 M_{v\tilde{a}o}$; OU
- $A_{s,apoio} \geq 0,25 A_{s,v\tilde{a}o}$, se M_{apoio} for negativo de valor absoluto $|M_{apoio}| > 0,5 M_{v\tilde{a}o}$.

No caso de apoios intermediários, onde não haja a possibilidade de ocorrência de momentos positivos, as armaduras provenientes do meio do vão deverão se estender, no mínimo, 10 ϕ além da face do apoio (item 18.3.2.4.1 da ABNT NBR 6118).

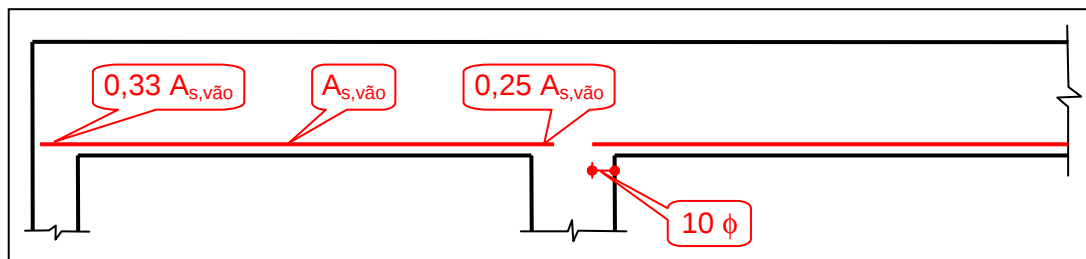


Figura 5.29 - Prolongamento de armadura positiva

5.12.4 Armadura de pele

A ABNT NBR 6118 - 17.3.5.2.3 indica que a mínima armadura lateral deve ser 0,10% $A_{c,alma}$

em cada face da alma da viga e composta por barras de CA-50 ou CA-60, com espaçamentos não maior que 20 cm e devidamente ancorada nos apoios, não sendo necessária uma armadura superior a $5 \text{ cm}^2/\text{m}$ por face. (Figura 5.30).

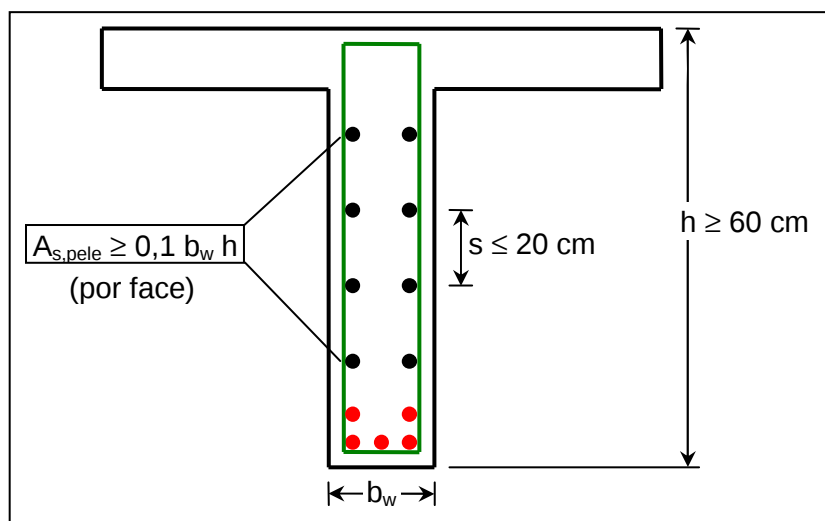


Figura 5.30 - Armadura de pele

Em vigas com altura igual ou inferior a 60 cm, pode ser dispensada utilização da armadura de pele.

5.13 Tabelas de Flexão Simples

CA-25

Concreto $\leq$ C50														
Aço CA-25			$\gamma_s = 1,15$		β'_s para (d'/d) =									
β_x	β_y	β_z	β_c	β_s	0,025	0,050	0,075	0,100	0,125	0,150	0,175	0,200	0,225	0,250
0,010	0,008	0,996	0,007	1,000										
0,020	0,016	0,992	0,013	1,000										
0,030	0,024	0,988	0,020	1,000	0,050									
0,040	0,032	0,984	0,027	1,000	0,151									
0,050	0,040	0,980	0,033	1,000	0,254									
0,060	0,048	0,976	0,040	1,000	0,360	0,103								
0,070	0,056	0,972	0,046	1,000	0,467	0,208								
0,080	0,064	0,968	0,053	1,000	0,578	0,315	0,052							
0,090	0,072	0,964	0,059	1,000	0,690	0,425	0,159							
0,100	0,080	0,960	0,065	1,000	0,805	0,537	0,268							
0,110	0,088	0,956	0,072	1,000	0,923	0,651	0,380	0,109						
0,120	0,096	0,952	0,078	1,000	1,000	0,768	0,494	0,220						
0,130	0,104	0,948	0,084	1,000	1,000	0,888	0,611	0,333	0,056					
0,140	0,112	0,944	0,090	1,000	1,000	1,000	0,730	0,449	0,168					
0,150	0,120	0,940	0,096	1,000	1,000	1,000	0,852	0,568	0,284					
0,160	0,128	0,936	0,102	1,000	1,000	1,000	0,978	0,690	0,403	0,115				
0,170	0,136	0,932	0,108	1,000	1,000	1,000	1,000	0,815	0,524	0,233				
0,180	0,144	0,928	0,114	1,000	1,000	1,000	1,000	0,942	0,648	0,353	0,059			
0,190	0,152	0,924	0,119	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,775	0,477	0,179			
0,200	0,160	0,920	0,125	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,906	0,604	0,302			
0,210	0,168	0,916	0,131	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,734	0,428	0,122		
0,220	0,176	0,912	0,136	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,867	0,557	0,248		
0,230	0,184	0,908	0,142	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,690	0,376	0,063	
0,240	0,192	0,904	0,148	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,826	0,508	0,191	
0,250	0,200	0,900	0,153	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,966	0,644	0,322	
0,260	0,208	0,896	0,158	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,779	0,455	0,130
0,270	0,216	0,892	0,164	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,876	0,563	0,250
0,280	0,224	0,888	0,169	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,965	0,663	0,362
0,290	0,232	0,884	0,174	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,757	0,466
0,300	0,240	0,880	0,180	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,844	0,563
0,310	0,248	0,876	0,185	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,926	0,654
0,320	0,256	0,872	0,190	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,739
0,330	0,264	0,868	0,195	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,819
0,340	0,272	0,864	0,200	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,894
0,350	0,280	0,860	0,205	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,965
0,360	0,288	0,856	0,210	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,370	0,296	0,852	0,214	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,380	0,304	0,848	0,219	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,390	0,312	0,844	0,224	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,400	0,320	0,840	0,228	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,410	0,328	0,836	0,233	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,420	0,336	0,832	0,238	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,430	0,344	0,828	0,242	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,440	0,352	0,824	0,247	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
$\beta_{x,dll}$	0,360	0,820	0,251	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,460	0,368	0,816	0,255	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,470	0,376	0,812	0,260	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,480	0,384	0,808	0,264	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,490	0,392	0,804	0,268	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,500	0,400	0,800	0,272	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Concreto C55														
Aço CA-25			$\gamma_s = 1,15$		β'_s para (d'/d) =									
β_x	β_y	β_z	β_c	β_s	0,025	0,050	0,075	0,100	0,125	0,150	0,175	0,200	0,225	0,250
0,010	0,008	0,996	0,007	1,000										
0,020	0,016	0,992	0,013	1,000										
0,030	0,024	0,988	0,019	1,000	0,050									
0,040	0,032	0,984	0,026	1,000	0,151									
0,050	0,039	0,980	0,032	1,000	0,254									
0,060	0,047	0,976	0,038	1,000	0,360	0,103								
0,070	0,055	0,972	0,044	1,000	0,467	0,208								
0,080	0,063	0,969	0,051	1,000	0,578	0,315	0,052							
0,090	0,071	0,965	0,057	1,000	0,690	0,425	0,159							
0,100	0,079	0,961	0,063	1,000	0,805	0,537	0,268							
0,110	0,087	0,957	0,069	1,000	0,923	0,651	0,380	0,109						
0,120	0,095	0,953	0,075	1,000	1,000	0,768	0,494	0,220						
0,130	0,102	0,949	0,081	1,000	1,000	0,888	0,611	0,333	0,056					
0,140	0,110	0,945	0,086	1,000	1,000	1,000	0,730	0,449	0,168					
0,150	0,118	0,941	0,092	1,000	1,000	1,000	0,852	0,568	0,284					
0,160	0,126	0,937	0,098	1,000	1,000	1,000	0,978	0,690	0,403	0,115				
0,170	0,134	0,933	0,104	1,000	1,000	1,000	1,000	0,815	0,524	0,233				
0,180	0,142	0,929	0,109	1,000	1,000	1,000	1,000	0,942	0,648	0,353	0,059			
0,190	0,150	0,925	0,115	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,775	0,477	0,179			
0,200	0,158	0,921	0,120	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,906	0,604	0,302			
0,210	0,165	0,917	0,126	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,734	0,428	0,122		
0,220	0,173	0,913	0,131	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,867	0,557	0,248		
0,230	0,181	0,909	0,137	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,690	0,376	0,063	
0,240	0,189	0,906	0,142	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,818	0,503	0,189	
0,250	0,197	0,902	0,147	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,906	0,604	0,302	
0,260	0,205	0,898	0,152	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,987	0,697	0,406	0,116
0,270	0,213	0,894	0,157	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,783	0,503	0,224
0,280	0,221	0,890	0,163	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,863	0,593	0,323
0,290	0,228	0,886	0,168	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,937	0,677	0,416
0,300	0,236	0,882	0,173	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,755	0,503
0,310	0,244	0,878	0,178	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,828	0,584
0,320	0,252	0,874	0,183	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,896	0,660
0,330	0,260	0,870	0,187	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,961	0,732
0,340	0,268	0,866	0,192	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,799
$\beta_{x,dll}$	0,276	0,862	0,197	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,863
0,360	0,284	0,858	0,202	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,922
0,370	0,291	0,854	0,206	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,979
0,380	0,299	0,850	0,211	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,390	0,307	0,846	0,215	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,400	0,315	0,843	0,220	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,410	0,323	0,839	0,224	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,420	0,331	0,835	0,229	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,430	0,339	0,831	0,233	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,440	0,347	0,827	0,237	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,450	0,354	0,823	0,242	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,460	0,362	0,819	0,246	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,470	0,370	0,815	0,250	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,480	0,378	0,811	0,254	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,490	0,386	0,807	0,258	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,500	0,394	0,803	0,262	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Concreto C60														
Aço CA-25			$\gamma_s = 1,15$		β'_s para (d'/d) =									
β_x	β_y	β_z	β_c	β_s	0,025	0,050	0,075	0,100	0,125	0,150	0,175	0,200	0,225	0,250
0,010	0,008	0,996	0,006	1,000										
0,020	0,016	0,992	0,012	1,000										
0,030	0,023	0,988	0,019	1,000	0,050									
0,040	0,031	0,985	0,025	1,000	0,151									
0,050	0,039	0,981	0,031	1,000	0,254									
0,060	0,047	0,977	0,037	1,000	0,360	0,103								
0,070	0,054	0,973	0,043	1,000	0,467	0,208								
0,080	0,062	0,969	0,049	1,000	0,578	0,315	0,052							
0,090	0,070	0,965	0,054	1,000	0,690	0,425	0,159							
0,100	0,078	0,961	0,060	1,000	0,805	0,537	0,268							
0,110	0,085	0,957	0,066	1,000	0,923	0,651	0,380	0,109						
0,120	0,093	0,954	0,072	1,000	1,000	0,768	0,494	0,220						
0,130	0,101	0,950	0,077	1,000	1,000	0,888	0,611	0,333	0,056					
0,140	0,109	0,946	0,083	1,000	1,000	1,000	0,730	0,449	0,168					
0,150	0,116	0,942	0,088	1,000	1,000	1,000	0,852	0,568	0,284					
0,160	0,124	0,938	0,094	1,000	1,000	1,000	0,978	0,690	0,403	0,115				
0,170	0,132	0,934	0,099	1,000	1,000	1,000	1,000	0,815	0,524	0,233				
0,180	0,140	0,930	0,105	1,000	1,000	1,000	1,000	0,942	0,648	0,353	0,059			
0,190	0,147	0,926	0,110	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,775	0,477	0,179			
0,200	0,155	0,923	0,115	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,906	0,604	0,302			
0,210	0,163	0,919	0,121	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,734	0,428	0,122		
0,220	0,171	0,915	0,126	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,867	0,557	0,248		
0,230	0,178	0,911	0,131	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,969	0,666	0,363	0,061	
0,240	0,186	0,907	0,136	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,754	0,464	0,174	
0,250	0,194	0,903	0,141	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,836	0,557	0,279	
0,260	0,202	0,899	0,146	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,911	0,643	0,375	0,107
0,270	0,209	0,895	0,151	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,980	0,722	0,464	0,206
0,280	0,217	0,892	0,156	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,796	0,547	0,298
0,290	0,225	0,888	0,161	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,864	0,624	0,384
0,300	0,233	0,884	0,166	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,928	0,696	0,464
0,310	0,240	0,880	0,171	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,988	0,764	0,539
0,320	0,248	0,876	0,175	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,827	0,609
0,330	0,256	0,872	0,180	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,886	0,675
0,340	0,264	0,868	0,185	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,942	0,737
$\beta_{x,dll}$	0,271	0,864	0,189	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,995	0,796
0,360	0,279	0,861	0,194	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,851
0,370	0,287	0,857	0,198	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,903
0,380	0,295	0,853	0,203	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,953
0,390	0,302	0,849	0,207	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,400	0,310	0,845	0,212	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,410	0,318	0,841	0,216	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,420	0,326	0,837	0,220	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,430	0,333	0,833	0,224	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,440	0,341	0,830	0,228	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,450	0,349	0,826	0,233	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,460	0,357	0,822	0,237	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,470	0,364	0,818	0,241	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,480	0,372	0,814	0,245	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,490	0,380	0,810	0,248	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,500	0,388	0,806	0,252	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Concreto C70														
Aço CA-25			$\gamma_s = 1,15$		β'_s para (d'/d) =									
β_x	β_y	β_z	β_c	β_s	0,025	0,050	0,075	0,100	0,125	0,150	0,175	0,200	0,225	0,250
0,010	0,008	0,996	0,006	1,000										
0,020	0,015	0,993	0,011	1,000										
0,030	0,023	0,989	0,017	1,000	0,050									
0,040	0,030	0,985	0,023	1,000	0,151									
0,050	0,038	0,981	0,028	1,000	0,254									
0,060	0,045	0,978	0,034	1,000	0,360	0,103								
0,070	0,053	0,974	0,039	1,000	0,467	0,208								
0,080	0,060	0,970	0,045	1,000	0,578	0,315	0,052							
0,090	0,068	0,966	0,050	1,000	0,690	0,425	0,159							
0,100	0,075	0,963	0,055	1,000	0,805	0,537	0,268							
0,110	0,083	0,959	0,061	1,000	0,923	0,651	0,380	0,109						
0,120	0,090	0,955	0,066	1,000	1,000	0,768	0,494	0,220						
0,130	0,098	0,951	0,071	1,000	1,000	0,888	0,611	0,333	0,056					
0,140	0,105	0,948	0,076	1,000	1,000	1,000	0,730	0,449	0,168					
0,150	0,113	0,944	0,081	1,000	1,000	1,000	0,852	0,568	0,284					
0,160	0,120	0,940	0,086	1,000	1,000	1,000	0,978	0,690	0,403	0,115				
0,170	0,128	0,936	0,091	1,000	1,000	1,000	1,000	0,815	0,524	0,233				
0,180	0,135	0,933	0,096	1,000	1,000	1,000	1,000	0,942	0,648	0,353	0,059			
0,190	0,143	0,929	0,101	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,775	0,477	0,179			
0,200	0,150	0,925	0,106	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,906	0,604	0,302			
0,210	0,158	0,921	0,111	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,733	0,428	0,122		
0,220	0,165	0,918	0,116	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,816	0,525	0,233		
0,230	0,173	0,914	0,121	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,892	0,614	0,335	0,056	
0,240	0,180	0,910	0,125	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,962	0,695	0,428	0,160	
0,250	0,188	0,906	0,130	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,770	0,513	0,257	
0,260	0,195	0,903	0,135	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,839	0,592	0,345	0,099
0,270	0,203	0,899	0,139	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,903	0,665	0,428	0,190
0,280	0,210	0,895	0,144	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,962	0,733	0,504	0,275
0,290	0,218	0,891	0,148	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,796	0,575	0,354
0,300	0,225	0,888	0,153	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,855	0,641	0,428
0,310	0,233	0,884	0,157	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,910	0,703	0,497
0,320	0,240	0,880	0,162	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,962	0,762	0,561
0,330	0,248	0,876	0,166	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,816	0,622
0,340	0,255	0,873	0,170	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,868	0,679
$\beta_{x,dll}$	0,263	0,869	0,174	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,916	0,733
0,360	0,270	0,865	0,179	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,962	0,784
0,370	0,278	0,861	0,183	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,832
0,380	0,285	0,858	0,187	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,878
0,390	0,293	0,854	0,191	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,921
0,400	0,300	0,850	0,195	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,962
0,410	0,308	0,846	0,199	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,420	0,315	0,843	0,203	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,430	0,323	0,839	0,207	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,440	0,330	0,835	0,211	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,450	0,338	0,831	0,215	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,460	0,345	0,828	0,218	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,470	0,353	0,824	0,222	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,480	0,360	0,820	0,226	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,490	0,368	0,816	0,229	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,500	0,375	0,813	0,233	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Concreto C80														
Aço CA-25			$\gamma_s = 1,15$		β'_s para (d'/d) =									
β_x	β_y	β_z	β_c	β_s	0,025	0,050	0,075	0,100	0,125	0,150	0,175	0,200	0,225	0,250
0,010	0,007	0,996	0,005	1,000										
0,020	0,015	0,993	0,010	1,000										
0,030	0,022	0,989	0,016	1,000	0,050									
0,040	0,029	0,986	0,021	1,000	0,151									
0,050	0,036	0,982	0,026	1,000	0,254									
0,060	0,044	0,978	0,031	1,000	0,360	0,103								
0,070	0,051	0,975	0,036	1,000	0,467	0,208								
0,080	0,058	0,971	0,041	1,000	0,578	0,315	0,052							
0,090	0,065	0,967	0,046	1,000	0,690	0,425	0,159							
0,100	0,073	0,964	0,050	1,000	0,805	0,537	0,268							
0,110	0,080	0,960	0,055	1,000	0,923	0,651	0,380	0,109						
0,120	0,087	0,957	0,060	1,000	1,000	0,768	0,494	0,220						
0,130	0,094	0,953	0,065	1,000	1,000	0,888	0,611	0,333	0,056					
0,140	0,102	0,949	0,070	1,000	1,000	1,000	0,730	0,449	0,168					
0,150	0,109	0,946	0,074	1,000	1,000	1,000	0,852	0,568	0,284					
0,160	0,116	0,942	0,079	1,000	1,000	1,000	0,978	0,690	0,403	0,115				
0,170	0,123	0,938	0,084	1,000	1,000	1,000	1,000	0,815	0,524	0,233				
0,180	0,131	0,935	0,088	1,000	1,000	1,000	1,000	0,942	0,648	0,353	0,059			
0,190	0,138	0,931	0,093	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,775	0,477	0,179			
0,200	0,145	0,928	0,097	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,906	0,604	0,302			
0,210	0,152	0,924	0,102	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,719	0,419	0,120		
0,220	0,160	0,920	0,106	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,800	0,514	0,229		
0,230	0,167	0,917	0,110	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,875	0,601	0,328	0,055	
0,240	0,174	0,913	0,115	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,943	0,681	0,419	0,157	
0,250	0,181	0,909	0,119	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,754	0,503	0,251	
0,260	0,189	0,906	0,123	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,822	0,580	0,339	0,097
0,270	0,196	0,902	0,128	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,885	0,652	0,419	0,186
0,280	0,203	0,899	0,132	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,943	0,719	0,494	0,269
0,290	0,210	0,895	0,136	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,997	0,781	0,564	0,347
0,300	0,218	0,891	0,140	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,838	0,629	0,419
0,310	0,225	0,888	0,144	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,892	0,690	0,487
0,320	0,232	0,884	0,148	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,943	0,747	0,550
0,330	0,239	0,880	0,152	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,991	0,800	0,610
0,340	0,247	0,877	0,156	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,851	0,666
$\beta_{x,dll}$	0,254	0,873	0,160	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,898	0,719
0,360	0,261	0,870	0,164	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,943	0,768
0,370	0,268	0,866	0,168	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,986	0,816
0,380	0,276	0,862	0,172	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,860
0,390	0,283	0,859	0,175	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,903
0,400	0,290	0,855	0,179	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,943
0,410	0,297	0,851	0,183	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,981
0,420	0,305	0,848	0,187	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,430	0,312	0,844	0,190	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,440	0,319	0,841	0,194	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,450	0,326	0,837	0,197	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,460	0,334	0,833	0,201	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,470	0,341	0,830	0,204	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,480	0,348	0,826	0,208	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,490	0,355	0,822	0,211	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,500	0,363	0,819	0,214	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Concreto C90														
Aço CA-25			$\gamma_s = 1,15$		β'_s para (d'/d) =									
β_x	β_y	β_z	β_c	β_s	0,025	0,050	0,075	0,100	0,125	0,150	0,175	0,200	0,225	0,250
0,010	0,007	0,997	0,005	1,000										
0,020	0,014	0,993	0,009	1,000										
0,030	0,021	0,990	0,014	1,000	0,050									
0,040	0,028	0,986	0,019	1,000	0,151									
0,050	0,035	0,983	0,023	1,000	0,254									
0,060	0,042	0,979	0,028	1,000	0,360	0,103								
0,070	0,049	0,976	0,033	1,000	0,467	0,208								
0,080	0,056	0,972	0,037	1,000	0,578	0,315	0,052							
0,090	0,063	0,969	0,041	1,000	0,690	0,425	0,159							
0,100	0,070	0,965	0,046	1,000	0,805	0,537	0,268							
0,110	0,077	0,962	0,050	1,000	0,923	0,651	0,380	0,109						
0,120	0,084	0,958	0,055	1,000	1,000	0,768	0,494	0,220						
0,130	0,091	0,955	0,059	1,000	1,000	0,888	0,611	0,333	0,056					
0,140	0,098	0,951	0,063	1,000	1,000	1,000	0,730	0,449	0,168					
0,150	0,105	0,948	0,068	1,000	1,000	1,000	0,852	0,568	0,284					
0,160	0,112	0,944	0,072	1,000	1,000	1,000	0,978	0,690	0,403	0,115				
0,170	0,119	0,941	0,076	1,000	1,000	1,000	1,000	0,815	0,524	0,233				
0,180	0,126	0,937	0,080	1,000	1,000	1,000	1,000	0,942	0,648	0,353	0,059			
0,190	0,133	0,934	0,084	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,775	0,477	0,179			
0,200	0,140	0,930	0,089	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,906	0,604	0,302			
0,210	0,147	0,927	0,093	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,718	0,419	0,120		
0,220	0,154	0,923	0,097	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,799	0,514	0,228		
0,230	0,161	0,920	0,101	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,874	0,601	0,328	0,055	
0,240	0,168	0,916	0,105	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,942	0,680	0,419	0,157	
0,250	0,175	0,913	0,109	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,753	0,502	0,251	
0,260	0,182	0,909	0,112	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,821	0,580	0,338	0,097
0,270	0,189	0,906	0,116	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,884	0,651	0,419	0,186
0,280	0,196	0,902	0,120	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,942	0,718	0,493	0,269
0,290	0,203	0,899	0,124	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,996	0,779	0,563	0,346
0,300	0,210	0,895	0,128	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,837	0,628	0,419
0,310	0,217	0,892	0,132	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,891	0,689	0,486
0,320	0,224	0,888	0,135	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,942	0,746	0,549
0,330	0,231	0,885	0,139	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,989	0,799	0,609
0,340	0,238	0,881	0,143	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,850	0,665
$\beta_{x,dll}$	0,245	0,878	0,146	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,897	0,718
0,360	0,252	0,874	0,150	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,942	0,767
0,370	0,259	0,871	0,153	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,984	0,815
0,380	0,266	0,867	0,157	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,859
0,390	0,273	0,864	0,160	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,902
0,400	0,280	0,860	0,164	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,942
0,410	0,287	0,857	0,167	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,980
0,420	0,294	0,853	0,171	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,430	0,301	0,850	0,174	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,440	0,308	0,846	0,177	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,450	0,315	0,843	0,180	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,460	0,322	0,839	0,184	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,470	0,329	0,836	0,187	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,480	0,336	0,832	0,190	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,490	0,343	0,829	0,193	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,500	0,350	0,825	0,196	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

CA-50

Concreto ≤ C50														
Aço CA-50			$\gamma_s = 1,15$		β'_s para (d'/d) =									
β_x	β_y	β_z	β_c	β_s	0,025	0,050	0,075	0,100	0,125	0,150	0,175	0,200	0,225	0,250
0,010	0,008	0,996	0,007	1,000										
0,020	0,016	0,992	0,013	1,000										
0,030	0,024	0,988	0,020	1,000	0,025									
0,040	0,032	0,984	0,027	1,000	0,075									
0,050	0,040	0,980	0,033	1,000	0,127									
0,060	0,048	0,976	0,040	1,000	0,180	0,051								
0,070	0,056	0,972	0,046	1,000	0,234	0,104								
0,080	0,064	0,968	0,053	1,000	0,289	0,158	0,026							
0,090	0,072	0,964	0,059	1,000	0,345	0,212	0,080							
0,100	0,080	0,960	0,065	1,000	0,403	0,268	0,134							
0,110	0,088	0,956	0,072	1,000	0,461	0,326	0,190	0,054						
0,120	0,096	0,952	0,078	1,000	0,521	0,384	0,247	0,110						
0,130	0,104	0,948	0,084	1,000	0,583	0,444	0,305	0,167	0,028					
0,140	0,112	0,944	0,090	1,000	0,646	0,505	0,365	0,225	0,084					
0,150	0,120	0,940	0,096	1,000	0,710	0,568	0,426	0,284	0,142					
0,160	0,128	0,936	0,102	1,000	0,776	0,633	0,489	0,345	0,201	0,058				
0,170	0,136	0,932	0,108	1,000	0,844	0,698	0,553	0,407	0,262	0,116				
0,180	0,144	0,928	0,114	1,000	0,913	0,766	0,618	0,471	0,324	0,177	0,029			
0,190	0,152	0,924	0,119	1,000	0,984	0,835	0,686	0,537	0,388	0,239	0,089			
0,200	0,160	0,920	0,125	1,000	1,000	0,906	0,755	0,604	0,453	0,302	0,151			
0,210	0,168	0,916	0,131	1,000	1,000	0,978	0,825	0,673	0,520	0,367	0,214	0,061		
0,220	0,176	0,912	0,136	1,000	1,000	1,000	0,898	0,743	0,588	0,433	0,279	0,124		
0,230	0,184	0,908	0,142	1,000	1,000	1,000	0,972	0,815	0,659	0,502	0,345	0,188	0,031	
0,240	0,192	0,904	0,148	1,000	1,000	1,000	1,000	0,890	0,731	0,572	0,413	0,254	0,095	
0,250	0,200	0,900	0,153	1,000	1,000	1,000	1,000	0,966	0,805	0,644	0,483	0,322	0,161	
0,260	0,208	0,896	0,158	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,877	0,714	0,552	0,390	0,227	0,065
0,270	0,216	0,892	0,164	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,907	0,750	0,594	0,438	0,281	0,125
0,280	0,224	0,888	0,169	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,935	0,784	0,633	0,482	0,332	0,181
0,290	0,232	0,884	0,174	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,961	0,815	0,670	0,524	0,378	0,233
0,300	0,240	0,880	0,180	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,985	0,844	0,704	0,563	0,422	0,281
0,310	0,248	0,876	0,185	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,872	0,735	0,599	0,463	0,327
0,320	0,256	0,872	0,190	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,897	0,765	0,633	0,501	0,369
0,330	0,264	0,868	0,195	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,921	0,793	0,665	0,537	0,409
0,340	0,272	0,864	0,200	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,944	0,819	0,695	0,571	0,447
0,350	0,280	0,860	0,205	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,965	0,844	0,724	0,603	0,482
0,360	0,288	0,856	0,210	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,985	0,868	0,750	0,633	0,516
0,370	0,296	0,852	0,214	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,890	0,776	0,662	0,548
0,380	0,304	0,848	0,219	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,911	0,800	0,689	0,578
0,390	0,312	0,844	0,224	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,931	0,823	0,714	0,606
0,400	0,320	0,840	0,228	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,950	0,844	0,739	0,633
0,410	0,328	0,836	0,233	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,968	0,865	0,762	0,659
0,420	0,336	0,832	0,238	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,985	0,884	0,784	0,683
0,430	0,344	0,828	0,242	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,903	0,805	0,707
0,440	0,352	0,824	0,247	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,921	0,825	0,729
$\beta_{x,dll}$	0,360	0,820	0,251	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,938	0,844	0,750
0,460	0,368	0,816	0,255	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,954	0,863	0,771
0,470	0,376	0,812	0,260	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,970	0,880	0,790
0,480	0,384	0,808	0,264	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,985	0,897	0,809
0,490	0,392	0,804	0,268	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	0,913	0,827
0,500	0,400	0,800	0,272	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,929	0,844

Concreto C55														
Aço CA-50			$\gamma_s = 1,15$		β'_s para (d'/d) =									
β_x	β_y	β_z	β_c	β_s	0,025	0,050	0,075	0,100	0,125	0,150	0,175	0,200	0,225	0,250
0,010	0,008	0,996	0,007	1,000										
0,020	0,016	0,992	0,013	1,000										
0,030	0,024	0,988	0,019	1,000	0,025									
0,040	0,032	0,984	0,026	1,000	0,075									
0,050	0,039	0,980	0,032	1,000	0,127									
0,060	0,047	0,976	0,038	1,000	0,180	0,051								
0,070	0,055	0,972	0,044	1,000	0,234	0,104								
0,080	0,063	0,969	0,051	1,000	0,289	0,158	0,026							
0,090	0,071	0,965	0,057	1,000	0,345	0,212	0,080							
0,100	0,079	0,961	0,063	1,000	0,403	0,268	0,134							
0,110	0,087	0,957	0,069	1,000	0,461	0,326	0,190	0,054						
0,120	0,095	0,953	0,075	1,000	0,521	0,384	0,247	0,110						
0,130	0,102	0,949	0,081	1,000	0,583	0,444	0,305	0,167	0,028					
0,140	0,110	0,945	0,086	1,000	0,646	0,505	0,365	0,225	0,084					
0,150	0,118	0,941	0,092	1,000	0,710	0,568	0,426	0,284	0,142					
0,160	0,126	0,937	0,098	1,000	0,776	0,633	0,489	0,345	0,201	0,058				
0,170	0,134	0,933	0,104	1,000	0,844	0,698	0,553	0,407	0,262	0,116				
0,180	0,142	0,929	0,109	1,000	0,913	0,766	0,618	0,471	0,324	0,177	0,029			
0,190	0,150	0,925	0,115	1,000	0,984	0,835	0,686	0,537	0,388	0,239	0,089			
0,200	0,158	0,921	0,120	1,000	1,000	0,906	0,755	0,604	0,453	0,302	0,151			
0,210	0,165	0,917	0,126	1,000	1,000	0,978	0,825	0,673	0,520	0,367	0,214	0,061		
0,220	0,173	0,913	0,131	1,000	1,000	1,000	0,898	0,743	0,588	0,433	0,279	0,124		
0,230	0,181	0,909	0,137	1,000	1,000	1,000	0,972	0,815	0,659	0,502	0,345	0,188	0,031	
0,240	0,189	0,906	0,142	1,000	1,000	1,000	1,000	0,881	0,723	0,566	0,409	0,252	0,094	
0,250	0,197	0,902	0,147	1,000	1,000	1,000	1,000	0,906	0,755	0,604	0,453	0,302	0,151	
0,260	0,205	0,898	0,152	1,000	1,000	1,000	1,000	0,929	0,784	0,639	0,493	0,348	0,203	0,058
0,270	0,213	0,894	0,157	1,000	1,000	1,000	1,000	0,950	0,811	0,671	0,531	0,391	0,252	0,112
0,280	0,221	0,890	0,163	1,000	1,000	1,000	1,000	0,970	0,836	0,701	0,566	0,431	0,297	0,162
0,290	0,228	0,886	0,168	1,000	1,000	1,000	1,000	0,989	0,859	0,729	0,599	0,468	0,338	0,208
0,300	0,236	0,882	0,173	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,881	0,755	0,629	0,503	0,377	0,252
0,310	0,244	0,878	0,178	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,901	0,779	0,657	0,536	0,414	0,292
0,320	0,252	0,874	0,183	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,920	0,802	0,684	0,566	0,448	0,330
0,330	0,260	0,870	0,187	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,938	0,823	0,709	0,595	0,480	0,366
0,340	0,268	0,866	0,192	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,955	0,844	0,733	0,622	0,511	0,400
$\beta_{x,dll}$	0,276	0,862	0,197	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,970	0,863	0,755	0,647	0,539	0,431
0,360	0,284	0,858	0,202	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,985	0,881	0,776	0,671	0,566	0,461
0,370	0,291	0,854	0,206	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,898	0,796	0,694	0,592	0,490
0,380	0,299	0,850	0,211	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,914	0,814	0,715	0,616	0,516
0,390	0,307	0,846	0,215	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,929	0,832	0,735	0,639	0,542
0,400	0,315	0,843	0,220	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,943	0,849	0,755	0,660	0,566
0,410	0,323	0,839	0,224	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,957	0,865	0,773	0,681	0,589
0,420	0,331	0,835	0,229	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,970	0,881	0,791	0,701	0,611
0,430	0,339	0,831	0,233	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,983	0,895	0,807	0,720	0,632
0,440	0,347	0,827	0,237	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,995	0,909	0,823	0,738	0,652
0,450	0,354	0,823	0,242	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,922	0,839	0,755	0,671
0,460	0,362	0,819	0,246	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,935	0,853	0,771	0,689
0,470	0,370	0,815	0,250	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,947	0,867	0,787	0,707
0,480	0,378	0,811	0,254	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,959	0,881	0,802	0,723
0,490	0,386	0,807	0,258	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,970	0,893	0,816	0,739
0,500	0,394	0,803	0,262	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,981	0,906	0,830	0,755

Concreto C60														
Aço CA-50			$\gamma_s = 1,15$		β'_s para (d'/d) =									
β_x	β_y	β_z	β_c	β_s	0,025	0,050	0,075	0,100	0,125	0,150	0,175	0,200	0,225	0,250
0,010	0,008	0,996	0,006	1,000										
0,020	0,016	0,992	0,012	1,000										
0,030	0,023	0,988	0,019	1,000	0,025									
0,040	0,031	0,985	0,025	1,000	0,075									
0,050	0,039	0,981	0,031	1,000	0,127									
0,060	0,047	0,977	0,037	1,000	0,180	0,051								
0,070	0,054	0,973	0,043	1,000	0,234	0,104								
0,080	0,062	0,969	0,049	1,000	0,289	0,158	0,026							
0,090	0,070	0,965	0,054	1,000	0,345	0,212	0,080							
0,100	0,078	0,961	0,060	1,000	0,403	0,268	0,134							
0,110	0,085	0,957	0,066	1,000	0,461	0,326	0,190	0,054						
0,120	0,093	0,954	0,072	1,000	0,521	0,384	0,247	0,110						
0,130	0,101	0,950	0,077	1,000	0,583	0,444	0,305	0,167	0,028					
0,140	0,109	0,946	0,083	1,000	0,646	0,505	0,365	0,225	0,084					
0,150	0,116	0,942	0,088	1,000	0,710	0,568	0,426	0,284	0,142					
0,160	0,124	0,938	0,094	1,000	0,776	0,633	0,489	0,345	0,201	0,058				
0,170	0,132	0,934	0,099	1,000	0,844	0,698	0,553	0,407	0,262	0,116				
0,180	0,140	0,930	0,105	1,000	0,913	0,766	0,618	0,471	0,324	0,177	0,029			
0,190	0,147	0,926	0,110	1,000	0,984	0,835	0,686	0,537	0,388	0,239	0,089			
0,200	0,155	0,923	0,115	1,000	1,000	0,906	0,755	0,604	0,453	0,302	0,151			
0,210	0,163	0,919	0,121	1,000	1,000	0,978	0,825	0,673	0,520	0,367	0,214	0,061		
0,220	0,171	0,915	0,126	1,000	1,000	1,000	0,898	0,743	0,588	0,433	0,279	0,124		
0,230	0,178	0,911	0,131	1,000	1,000	1,000	0,939	0,787	0,636	0,484	0,333	0,182	0,030	
0,240	0,186	0,907	0,136	1,000	1,000	1,000	0,958	0,812	0,667	0,522	0,377	0,232	0,087	
0,250	0,194	0,903	0,141	1,000	1,000	1,000	0,975	0,836	0,696	0,557	0,418	0,279	0,139	
0,260	0,202	0,899	0,146	1,000	1,000	1,000	0,991	0,857	0,723	0,589	0,455	0,321	0,187	0,054
0,270	0,209	0,895	0,151	1,000	1,000	1,000	1,000	0,877	0,748	0,619	0,490	0,361	0,232	0,103
0,280	0,217	0,892	0,156	1,000	1,000	1,000	1,000	0,895	0,771	0,647	0,522	0,398	0,274	0,149
0,290	0,225	0,888	0,161	1,000	1,000	1,000	1,000	0,912	0,792	0,672	0,552	0,432	0,312	0,192
0,300	0,233	0,884	0,166	1,000	1,000	1,000	1,000	0,928	0,812	0,696	0,580	0,464	0,348	0,232
0,310	0,240	0,880	0,171	1,000	1,000	1,000	1,000	0,943	0,831	0,719	0,607	0,494	0,382	0,270
0,320	0,248	0,876	0,175	1,000	1,000	1,000	1,000	0,958	0,849	0,740	0,631	0,522	0,413	0,305
0,330	0,256	0,872	0,180	1,000	1,000	1,000	1,000	0,971	0,865	0,760	0,654	0,549	0,443	0,338
0,340	0,264	0,868	0,185	1,000	1,000	1,000	1,000	0,983	0,881	0,778	0,676	0,573	0,471	0,369
$\beta_{x,dll}$	0,271	0,864	0,189	1,000	1,000	1,000	1,000	0,995	0,895	0,796	0,696	0,597	0,497	0,398
0,360	0,279	0,861	0,194	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,909	0,812	0,716	0,619	0,522	0,426
0,370	0,287	0,857	0,198	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,922	0,828	0,734	0,640	0,546	0,452
0,380	0,295	0,853	0,203	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,935	0,843	0,751	0,660	0,568	0,476
0,390	0,302	0,849	0,207	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,946	0,857	0,768	0,679	0,589	0,500
0,400	0,310	0,845	0,212	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,958	0,870	0,783	0,696	0,609	0,522
0,410	0,318	0,841	0,216	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,968	0,883	0,798	0,713	0,628	0,544
0,420	0,326	0,837	0,220	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,978	0,895	0,812	0,730	0,647	0,564
0,430	0,333	0,833	0,224	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,988	0,907	0,826	0,745	0,664	0,583
0,440	0,341	0,830	0,228	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,997	0,918	0,839	0,760	0,681	0,601
0,450	0,349	0,826	0,233	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,928	0,851	0,774	0,696	0,619
0,460	0,357	0,822	0,237	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,939	0,863	0,787	0,712	0,636
0,470	0,364	0,818	0,241	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,948	0,874	0,800	0,726	0,652
0,480	0,372	0,814	0,245	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,958	0,885	0,812	0,740	0,667
0,490	0,380	0,810	0,248	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,966	0,895	0,824	0,753	0,682
0,500	0,388	0,806	0,252	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,975	0,905	0,836	0,766	0,696

Concreto C70														
Aço CA-50			$\gamma_s = 1,15$		β'_s para (d'/d) =									
β_x	β_y	β_z	β_c	β_s	0,025	0,050	0,075	0,100	0,125	0,150	0,175	0,200	0,225	0,250
0,010	0,008	0,996	0,006	1,000										
0,020	0,015	0,993	0,011	1,000										
0,030	0,023	0,989	0,017	1,000	0,025									
0,040	0,030	0,985	0,023	1,000	0,075									
0,050	0,038	0,981	0,028	1,000	0,127									
0,060	0,045	0,978	0,034	1,000	0,180	0,051								
0,070	0,053	0,974	0,039	1,000	0,234	0,104								
0,080	0,060	0,970	0,045	1,000	0,289	0,158	0,026							
0,090	0,068	0,966	0,050	1,000	0,345	0,212	0,080							
0,100	0,075	0,963	0,055	1,000	0,403	0,268	0,134							
0,110	0,083	0,959	0,061	1,000	0,461	0,326	0,190	0,054						
0,120	0,090	0,955	0,066	1,000	0,521	0,384	0,247	0,110						
0,130	0,098	0,951	0,071	1,000	0,583	0,444	0,305	0,167	0,028					
0,140	0,105	0,948	0,076	1,000	0,646	0,505	0,365	0,225	0,084					
0,150	0,113	0,944	0,081	1,000	0,710	0,568	0,426	0,284	0,142					
0,160	0,120	0,940	0,086	1,000	0,776	0,633	0,489	0,345	0,201	0,058				
0,170	0,128	0,936	0,091	1,000	0,844	0,698	0,553	0,407	0,262	0,116				
0,180	0,135	0,933	0,096	1,000	0,913	0,766	0,618	0,471	0,324	0,177	0,029			
0,190	0,143	0,929	0,101	1,000	0,984	0,835	0,686	0,537	0,388	0,239	0,089			
0,200	0,150	0,925	0,106	1,000	1,000	0,906	0,755	0,604	0,453	0,302	0,151			
0,210	0,158	0,921	0,111	1,000	1,000	0,977	0,825	0,672	0,519	0,367	0,214	0,061		
0,220	0,165	0,918	0,116	1,000	1,000	0,991	0,846	0,700	0,554	0,408	0,262	0,117		
0,230	0,173	0,914	0,121	1,000	1,000	1,000	0,865	0,725	0,586	0,446	0,307	0,167	0,028	
0,240	0,180	0,910	0,125	1,000	1,000	1,000	0,882	0,748	0,615	0,481	0,347	0,214	0,080	
0,250	0,188	0,906	0,130	1,000	1,000	1,000	0,898	0,770	0,641	0,513	0,385	0,257	0,128	
0,260	0,195	0,903	0,135	1,000	1,000	1,000	0,913	0,789	0,666	0,543	0,419	0,296	0,173	0,049
0,270	0,203	0,899	0,139	1,000	1,000	1,000	0,927	0,808	0,689	0,570	0,451	0,333	0,214	0,095
0,280	0,210	0,895	0,144	1,000	1,000	1,000	0,939	0,825	0,710	0,596	0,481	0,367	0,252	0,137
0,290	0,218	0,891	0,148	1,000	1,000	1,000	0,951	0,840	0,730	0,619	0,509	0,398	0,288	0,177
0,300	0,225	0,888	0,153	1,000	1,000	1,000	0,962	0,855	0,748	0,641	0,535	0,428	0,321	0,214
0,310	0,233	0,884	0,157	1,000	1,000	1,000	0,972	0,869	0,766	0,662	0,559	0,455	0,352	0,248
0,320	0,240	0,880	0,162	1,000	1,000	1,000	0,982	0,882	0,782	0,682	0,581	0,481	0,381	0,281
0,330	0,248	0,876	0,166	1,000	1,000	1,000	0,991	0,894	0,797	0,700	0,603	0,505	0,408	0,311
0,340	0,255	0,873	0,170	1,000	1,000	1,000	1,000	0,906	0,811	0,717	0,623	0,528	0,434	0,340
$\beta_{x,dll}$	0,263	0,869	0,174	1,000	1,000	1,000	1,000	0,916	0,825	0,733	0,641	0,550	0,458	0,367
0,360	0,270	0,865	0,179	1,000	1,000	1,000	1,000	0,927	0,837	0,748	0,659	0,570	0,481	0,392
0,370	0,278	0,861	0,183	1,000	1,000	1,000	1,000	0,936	0,849	0,763	0,676	0,589	0,503	0,416
0,380	0,285	0,858	0,187	1,000	1,000	1,000	1,000	0,945	0,861	0,776	0,692	0,608	0,523	0,439
0,390	0,293	0,854	0,191	1,000	1,000	1,000	1,000	0,954	0,872	0,789	0,707	0,625	0,543	0,461
0,400	0,300	0,850	0,195	1,000	1,000	1,000	1,000	0,962	0,882	0,802	0,722	0,641	0,561	0,481
0,410	0,308	0,846	0,199	1,000	1,000	1,000	1,000	0,970	0,892	0,814	0,735	0,657	0,579	0,501
0,420	0,315	0,843	0,203	1,000	1,000	1,000	1,000	0,977	0,901	0,825	0,748	0,672	0,596	0,519
0,430	0,323	0,839	0,207	1,000	1,000	1,000	1,000	0,985	0,910	0,835	0,761	0,686	0,612	0,537
0,440	0,330	0,835	0,211	1,000	1,000	1,000	1,000	0,991	0,918	0,846	0,773	0,700	0,627	0,554
0,450	0,338	0,831	0,215	1,000	1,000	1,000	1,000	0,998	0,927	0,855	0,784	0,713	0,641	0,570
0,460	0,345	0,828	0,218	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,934	0,865	0,795	0,725	0,655	0,586
0,470	0,353	0,824	0,222	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,942	0,873	0,805	0,737	0,669	0,600
0,480	0,360	0,820	0,226	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,949	0,882	0,815	0,748	0,682	0,615
0,490	0,368	0,816	0,229	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,956	0,890	0,825	0,759	0,694	0,628
0,500	0,375	0,813	0,233	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,962	0,898	0,834	0,770	0,706	0,641

Concreto C80														
Aço CA-50			$\gamma_s = 1,15$		β'_s para (d'/d) =									
β_x	β_y	β_z	β_c	β_s	0,025	0,050	0,075	0,100	0,125	0,150	0,175	0,200	0,225	0,250
0,010	0,007	0,996	0,005	1,000										
0,020	0,015	0,993	0,010	1,000										
0,030	0,022	0,989	0,016	1,000	0,025									
0,040	0,029	0,986	0,021	1,000	0,075									
0,050	0,036	0,982	0,026	1,000	0,127									
0,060	0,044	0,978	0,031	1,000	0,180	0,051								
0,070	0,051	0,975	0,036	1,000	0,234	0,104								
0,080	0,058	0,971	0,041	1,000	0,289	0,158	0,026							
0,090	0,065	0,967	0,046	1,000	0,345	0,212	0,080							
0,100	0,073	0,964	0,050	1,000	0,403	0,268	0,134							
0,110	0,080	0,960	0,055	1,000	0,461	0,326	0,190	0,054						
0,120	0,087	0,957	0,060	1,000	0,521	0,384	0,247	0,110						
0,130	0,094	0,953	0,065	1,000	0,583	0,444	0,305	0,167	0,028					
0,140	0,102	0,949	0,070	1,000	0,646	0,505	0,365	0,225	0,084					
0,150	0,109	0,946	0,074	1,000	0,710	0,568	0,426	0,284	0,142					
0,160	0,116	0,942	0,079	1,000	0,776	0,633	0,489	0,345	0,201	0,058				
0,170	0,123	0,938	0,084	1,000	0,844	0,698	0,553	0,407	0,262	0,116				
0,180	0,131	0,935	0,088	1,000	0,913	0,766	0,618	0,471	0,324	0,177	0,029			
0,190	0,138	0,931	0,093	1,000	0,984	0,835	0,686	0,537	0,388	0,239	0,089			
0,200	0,145	0,928	0,097	1,000	1,000	0,906	0,755	0,604	0,453	0,302	0,151			
0,210	0,152	0,924	0,102	1,000	1,000	0,958	0,808	0,659	0,509	0,359	0,210	0,060		
0,220	0,160	0,920	0,106	1,000	1,000	0,972	0,829	0,686	0,543	0,400	0,257	0,114		
0,230	0,167	0,917	0,110	1,000	1,000	0,984	0,847	0,711	0,574	0,437	0,301	0,164	0,027	
0,240	0,174	0,913	0,115	1,000	1,000	0,996	0,865	0,734	0,603	0,472	0,341	0,210	0,079	
0,250	0,181	0,909	0,119	1,000	1,000	1,000	0,880	0,754	0,629	0,503	0,377	0,251	0,126	
0,260	0,189	0,906	0,123	1,000	1,000	1,000	0,895	0,774	0,653	0,532	0,411	0,290	0,169	0,048
0,270	0,196	0,902	0,128	1,000	1,000	1,000	0,908	0,792	0,675	0,559	0,442	0,326	0,210	0,093
0,280	0,203	0,899	0,132	1,000	1,000	1,000	0,921	0,808	0,696	0,584	0,472	0,359	0,247	0,135
0,290	0,210	0,895	0,136	1,000	1,000	1,000	0,932	0,824	0,715	0,607	0,499	0,390	0,282	0,173
0,300	0,218	0,891	0,140	1,000	1,000	1,000	0,943	0,838	0,734	0,629	0,524	0,419	0,314	0,210
0,310	0,225	0,888	0,144	1,000	1,000	1,000	0,953	0,852	0,750	0,649	0,548	0,446	0,345	0,243
0,320	0,232	0,884	0,148	1,000	1,000	1,000	0,963	0,865	0,766	0,668	0,570	0,472	0,373	0,275
0,330	0,239	0,880	0,152	1,000	1,000	1,000	0,972	0,876	0,781	0,686	0,591	0,495	0,400	0,305
0,340	0,247	0,877	0,156	1,000	1,000	1,000	0,980	0,888	0,795	0,703	0,610	0,518	0,425	0,333
$\beta_{x,dll}$	0,254	0,873	0,160	1,000	1,000	1,000	0,988	0,898	0,808	0,719	0,629	0,539	0,449	0,359
0,360	0,261	0,870	0,164	1,000	1,000	1,000	0,996	0,908	0,821	0,734	0,646	0,559	0,472	0,384
0,370	0,268	0,866	0,168	1,000	1,000	1,000	1,000	0,918	0,833	0,748	0,663	0,578	0,493	0,408
0,380	0,276	0,862	0,172	1,000	1,000	1,000	1,000	0,927	0,844	0,761	0,678	0,596	0,513	0,430
0,390	0,283	0,859	0,175	1,000	1,000	1,000	1,000	0,935	0,854	0,774	0,693	0,613	0,532	0,451
0,400	0,290	0,855	0,179	1,000	1,000	1,000	1,000	0,943	0,865	0,786	0,707	0,629	0,550	0,472
0,410	0,297	0,851	0,183	1,000	1,000	1,000	1,000	0,951	0,874	0,797	0,721	0,644	0,567	0,491
0,420	0,305	0,848	0,187	1,000	1,000	1,000	1,000	0,958	0,883	0,808	0,734	0,659	0,584	0,509
0,430	0,312	0,844	0,190	1,000	1,000	1,000	1,000	0,965	0,892	0,819	0,746	0,673	0,600	0,526
0,440	0,319	0,841	0,194	1,000	1,000	1,000	1,000	0,972	0,900	0,829	0,757	0,686	0,614	0,543
0,450	0,326	0,837	0,197	1,000	1,000	1,000	1,000	0,978	0,908	0,838	0,768	0,699	0,629	0,559
0,460	0,334	0,833	0,201	1,000	1,000	1,000	1,000	0,984	0,916	0,847	0,779	0,711	0,642	0,574
0,470	0,341	0,830	0,204	1,000	1,000	1,000	1,000	0,990	0,923	0,856	0,789	0,722	0,656	0,589
0,480	0,348	0,826	0,208	1,000	1,000	1,000	1,000	0,996	0,930	0,865	0,799	0,734	0,668	0,603
0,490	0,355	0,822	0,211	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,937	0,873	0,808	0,744	0,680	0,616
0,500	0,363	0,819	0,214	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,943	0,880	0,817	0,754	0,692	0,629

Concreto C90														
Aço CA-50			$\gamma_s = 1,15$		β'_s para (d'/d) =									
β_x	β_y	β_z	β_c	β_s	0,025	0,050	0,075	0,100	0,125	0,150	0,175	0,200	0,225	0,250
0,010	0,007	0,997	0,005	1,000										
0,020	0,014	0,993	0,009	1,000										
0,030	0,021	0,990	0,014	1,000	0,025									
0,040	0,028	0,986	0,019	1,000	0,075									
0,050	0,035	0,983	0,023	1,000	0,127									
0,060	0,042	0,979	0,028	1,000	0,180	0,051								
0,070	0,049	0,976	0,033	1,000	0,234	0,104								
0,080	0,056	0,972	0,037	1,000	0,289	0,158	0,026							
0,090	0,063	0,969	0,041	1,000	0,345	0,212	0,080							
0,100	0,070	0,965	0,046	1,000	0,403	0,268	0,134							
0,110	0,077	0,962	0,050	1,000	0,461	0,326	0,190	0,054						
0,120	0,084	0,958	0,055	1,000	0,521	0,384	0,247	0,110						
0,130	0,091	0,955	0,059	1,000	0,583	0,444	0,305	0,167	0,028					
0,140	0,098	0,951	0,063	1,000	0,646	0,505	0,365	0,225	0,084					
0,150	0,105	0,948	0,068	1,000	0,710	0,568	0,426	0,284	0,142					
0,160	0,112	0,944	0,072	1,000	0,776	0,633	0,489	0,345	0,201	0,058				
0,170	0,119	0,941	0,076	1,000	0,844	0,698	0,553	0,407	0,262	0,116				
0,180	0,126	0,937	0,080	1,000	0,913	0,766	0,618	0,471	0,324	0,177	0,029			
0,190	0,133	0,934	0,084	1,000	0,984	0,835	0,686	0,537	0,388	0,239	0,089			
0,200	0,140	0,930	0,089	1,000	1,000	0,906	0,755	0,604	0,453	0,302	0,151			
0,210	0,147	0,927	0,093	1,000	1,000	0,957	0,807	0,658	0,508	0,359	0,209	0,060		
0,220	0,154	0,923	0,097	1,000	1,000	0,970	0,828	0,685	0,542	0,400	0,257	0,114		
0,230	0,161	0,920	0,101	1,000	1,000	0,983	0,846	0,710	0,573	0,437	0,300	0,164	0,027	
0,240	0,168	0,916	0,105	1,000	1,000	0,994	0,863	0,733	0,602	0,471	0,340	0,209	0,078	
0,250	0,175	0,913	0,109	1,000	1,000	1,000	0,879	0,753	0,628	0,502	0,377	0,251	0,126	
0,260	0,182	0,909	0,112	1,000	1,000	1,000	0,894	0,773	0,652	0,531	0,411	0,290	0,169	0,048
0,270	0,189	0,906	0,116	1,000	1,000	1,000	0,907	0,791	0,674	0,558	0,442	0,326	0,209	0,093
0,280	0,196	0,902	0,120	1,000	1,000	1,000	0,919	0,807	0,695	0,583	0,471	0,359	0,247	0,135
0,290	0,203	0,899	0,124	1,000	1,000	1,000	0,931	0,823	0,715	0,606	0,498	0,390	0,281	0,173
0,300	0,210	0,895	0,128	1,000	1,000	1,000	0,942	0,837	0,733	0,628	0,523	0,419	0,314	0,209
0,310	0,217	0,892	0,132	1,000	1,000	1,000	0,952	0,851	0,749	0,648	0,547	0,446	0,344	0,243
0,320	0,224	0,888	0,135	1,000	1,000	1,000	0,961	0,863	0,765	0,667	0,569	0,471	0,373	0,275
0,330	0,231	0,885	0,139	1,000	1,000	1,000	0,970	0,875	0,780	0,685	0,590	0,495	0,400	0,304
0,340	0,238	0,881	0,143	1,000	1,000	1,000	0,979	0,886	0,794	0,702	0,609	0,517	0,425	0,332
$\beta_{x,dll}$	0,245	0,878	0,146	1,000	1,000	1,000	0,987	0,897	0,807	0,718	0,628	0,538	0,449	0,359
0,360	0,252	0,874	0,150	1,000	1,000	1,000	0,994	0,907	0,820	0,733	0,645	0,558	0,471	0,384
0,370	0,259	0,871	0,153	1,000	1,000	1,000	1,000	0,916	0,832	0,747	0,662	0,577	0,492	0,407
0,380	0,266	0,867	0,157	1,000	1,000	1,000	1,000	0,925	0,843	0,760	0,677	0,595	0,512	0,430
0,390	0,273	0,864	0,160	1,000	1,000	1,000	1,000	0,934	0,853	0,773	0,692	0,612	0,531	0,451
0,400	0,280	0,860	0,164	1,000	1,000	1,000	1,000	0,942	0,863	0,785	0,706	0,628	0,549	0,471
0,410	0,287	0,857	0,167	1,000	1,000	1,000	1,000	0,950	0,873	0,796	0,720	0,643	0,567	0,490
0,420	0,294	0,853	0,171	1,000	1,000	1,000	1,000	0,957	0,882	0,807	0,733	0,658	0,583	0,508
0,430	0,301	0,850	0,174	1,000	1,000	1,000	1,000	0,964	0,891	0,818	0,745	0,672	0,599	0,526
0,440	0,308	0,846	0,177	1,000	1,000	1,000	1,000	0,970	0,899	0,828	0,756	0,685	0,614	0,542
0,450	0,315	0,843	0,180	1,000	1,000	1,000	1,000	0,977	0,907	0,837	0,767	0,698	0,628	0,558
0,460	0,322	0,839	0,184	1,000	1,000	1,000	1,000	0,983	0,915	0,846	0,778	0,710	0,642	0,573
0,470	0,329	0,836	0,187	1,000	1,000	1,000	1,000	0,989	0,922	0,855	0,788	0,721	0,655	0,588
0,480	0,336	0,832	0,190	1,000	1,000	1,000	1,000	0,994	0,929	0,863	0,798	0,733	0,667	0,602
0,490	0,343	0,829	0,193	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,935	0,871	0,807	0,743	0,679	0,615
0,500	0,350	0,825	0,196	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,942	0,879	0,816	0,753	0,691	0,628

CA-60

Concreto $\leq$ C50														
Aço CA-60			$\gamma_s = 1,15$		β'_s para (d'/d) =									
β_x	β_y	β_z	β_c	β_s	0,025	0,050	0,075	0,100	0,125	0,150	0,175	0,200	0,225	0,250
0,010	0,008	0,996	0,007	1,000										
0,020	0,016	0,992	0,013	1,000										
0,030	0,024	0,988	0,020	1,000	0,021									
0,040	0,032	0,984	0,027	1,000	0,063									
0,050	0,040	0,980	0,033	1,000	0,106									
0,060	0,048	0,976	0,040	1,000	0,150	0,043								
0,070	0,056	0,972	0,046	1,000	0,195	0,087								
0,080	0,064	0,968	0,053	1,000	0,241	0,131	0,022							
0,090	0,072	0,964	0,059	1,000	0,288	0,177	0,066							
0,100	0,080	0,960	0,065	1,000	0,335	0,224	0,112							
0,110	0,088	0,956	0,072	1,000	0,384	0,271	0,158	0,045						
0,120	0,096	0,952	0,078	1,000	0,435	0,320	0,206	0,091						
0,130	0,104	0,948	0,084	1,000	0,486	0,370	0,254	0,139	0,023					
0,140	0,112	0,944	0,090	1,000	0,538	0,421	0,304	0,187	0,070					
0,150	0,120	0,940	0,096	1,000	0,592	0,474	0,355	0,237	0,118					
0,160	0,128	0,936	0,102	1,000	0,647	0,527	0,407	0,288	0,168	0,048				
0,170	0,136	0,932	0,108	1,000	0,703	0,582	0,461	0,339	0,218	0,097				
0,180	0,144	0,928	0,114	1,000	0,761	0,638	0,515	0,393	0,270	0,147	0,025			
0,190	0,152	0,924	0,119	1,000	0,820	0,696	0,571	0,447	0,323	0,199	0,075			
0,200	0,160	0,920	0,125	1,000	0,880	0,755	0,629	0,503	0,377	0,252	0,126			
0,210	0,168	0,916	0,131	1,000	0,943	0,815	0,688	0,560	0,433	0,306	0,178	0,051		
0,220	0,176	0,912	0,136	1,000	1,000	0,877	0,748	0,619	0,490	0,361	0,232	0,103		
0,230	0,184	0,908	0,142	1,000	1,000	0,941	0,810	0,680	0,549	0,418	0,288	0,157	0,026	
0,240	0,192	0,904	0,148	1,000	1,000	1,000	0,874	0,741	0,609	0,477	0,344	0,212	0,079	
0,250	0,200	0,900	0,153	1,000	1,000	1,000	0,939	0,805	0,671	0,537	0,403	0,268	0,134	
0,260	0,208	0,896	0,158	1,000	1,000	1,000	1,000	0,866	0,731	0,595	0,460	0,325	0,189	0,054
0,270	0,216	0,892	0,164	1,000	1,000	1,000	1,000	0,886	0,756	0,625	0,495	0,365	0,235	0,104
0,280	0,224	0,888	0,169	1,000	1,000	1,000	1,000	0,905	0,779	0,653	0,528	0,402	0,276	0,151
0,290	0,232	0,884	0,174	1,000	1,000	1,000	1,000	0,922	0,801	0,679	0,558	0,437	0,315	0,194
0,300	0,240	0,880	0,180	1,000	1,000	1,000	1,000	0,938	0,821	0,704	0,586	0,469	0,352	0,235
0,310	0,248	0,876	0,185	1,000	1,000	1,000	1,000	0,953	0,840	0,726	0,613	0,499	0,386	0,272
0,320	0,256	0,872	0,190	1,000	1,000	1,000	1,000	0,967	0,857	0,748	0,638	0,528	0,418	0,308
0,330	0,264	0,868	0,195	1,000	1,000	1,000	1,000	0,981	0,874	0,768	0,661	0,554	0,448	0,341
0,340	0,272	0,864	0,200	1,000	1,000	1,000	1,000	0,993	0,890	0,786	0,683	0,579	0,476	0,372
0,350	0,280	0,860	0,205	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,905	0,804	0,704	0,603	0,503	0,402
0,360	0,288	0,856	0,210	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,919	0,821	0,723	0,625	0,528	0,430
0,370	0,296	0,852	0,214	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,932	0,837	0,742	0,647	0,551	0,456
0,380	0,304	0,848	0,219	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,944	0,852	0,759	0,667	0,574	0,481
0,390	0,312	0,844	0,224	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,956	0,866	0,776	0,686	0,595	0,505
0,400	0,320	0,840	0,228	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,967	0,879	0,792	0,704	0,616	0,528
0,410	0,328	0,836	0,233	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,978	0,892	0,807	0,721	0,635	0,549
0,420	0,336	0,832	0,238	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,988	0,905	0,821	0,737	0,653	0,570
0,430	0,344	0,828	0,242	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,998	0,916	0,834	0,753	0,671	0,589
0,440	0,352	0,824	0,247	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,927	0,847	0,768	0,688	0,608
$\beta_{x,dII}$	0,360	0,820	0,251	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,938	0,860	0,782	0,704	0,625
0,460	0,368	0,816	0,255	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,948	0,872	0,795	0,719	0,642
0,470	0,376	0,812	0,260	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,958	0,883	0,808	0,734	0,659
0,480	0,384	0,808	0,264	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,967	0,894	0,821	0,748	0,674
0,490	0,392	0,804	0,268	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,976	0,905	0,833	0,761	0,689
0,500	0,400	0,800	0,272	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,985	0,915	0,844	0,774	0,704

Concreto C55														
Aço CA-60			$\gamma_s = 1,15$		β'_s para (d'/d) =									
β_x	β_y	β_z	β_c	β_s	0,025	0,050	0,075	0,100	0,125	0,150	0,175	0,200	0,225	0,250
0,010	0,008	0,996	0,007	1,000										
0,020	0,016	0,992	0,013	1,000										
0,030	0,024	0,988	0,019	1,000	0,021									
0,040	0,032	0,984	0,026	1,000	0,063									
0,050	0,039	0,980	0,032	1,000	0,106									
0,060	0,047	0,976	0,038	1,000	0,150	0,043								
0,070	0,055	0,972	0,044	1,000	0,195	0,087								
0,080	0,063	0,969	0,051	1,000	0,241	0,131	0,022							
0,090	0,071	0,965	0,057	1,000	0,288	0,177	0,066							
0,100	0,079	0,961	0,063	1,000	0,335	0,224	0,112							
0,110	0,087	0,957	0,069	1,000	0,384	0,271	0,158	0,045						
0,120	0,095	0,953	0,075	1,000	0,435	0,320	0,206	0,091						
0,130	0,102	0,949	0,081	1,000	0,486	0,370	0,254	0,139	0,023					
0,140	0,110	0,945	0,086	1,000	0,538	0,421	0,304	0,187	0,070					
0,150	0,118	0,941	0,092	1,000	0,592	0,474	0,355	0,237	0,118					
0,160	0,126	0,937	0,098	1,000	0,647	0,527	0,407	0,288	0,168	0,048				
0,170	0,134	0,933	0,104	1,000	0,703	0,582	0,461	0,339	0,218	0,097				
0,180	0,142	0,929	0,109	1,000	0,761	0,638	0,515	0,393	0,270	0,147	0,025			
0,190	0,150	0,925	0,115	1,000	0,820	0,696	0,571	0,447	0,323	0,199	0,075			
0,200	0,158	0,921	0,120	1,000	0,880	0,755	0,629	0,503	0,377	0,252	0,126			
0,210	0,165	0,917	0,126	1,000	0,943	0,815	0,688	0,560	0,433	0,306	0,178	0,051		
0,220	0,173	0,913	0,131	1,000	1,000	0,877	0,748	0,619	0,490	0,361	0,232	0,103		
0,230	0,181	0,909	0,137	1,000	1,000	0,941	0,810	0,680	0,549	0,418	0,288	0,157	0,026	
0,240	0,189	0,906	0,142	1,000	1,000	0,996	0,865	0,734	0,603	0,472	0,341	0,210	0,079	
0,250	0,197	0,902	0,147	1,000	1,000	1,000	0,881	0,755	0,629	0,503	0,377	0,252	0,126	
0,260	0,205	0,898	0,152	1,000	1,000	1,000	0,895	0,774	0,653	0,532	0,411	0,290	0,169	0,048
0,270	0,213	0,894	0,157	1,000	1,000	1,000	0,908	0,792	0,676	0,559	0,443	0,326	0,210	0,093
0,280	0,221	0,890	0,163	1,000	1,000	1,000	0,921	0,809	0,696	0,584	0,472	0,359	0,247	0,135
0,290	0,228	0,886	0,168	1,000	1,000	1,000	0,933	0,824	0,716	0,607	0,499	0,390	0,282	0,174
0,300	0,236	0,882	0,173	1,000	1,000	1,000	0,943	0,839	0,734	0,629	0,524	0,419	0,314	0,210
0,310	0,244	0,878	0,178	1,000	1,000	1,000	0,954	0,852	0,751	0,649	0,548	0,446	0,345	0,243
0,320	0,252	0,874	0,183	1,000	1,000	1,000	0,963	0,865	0,767	0,668	0,570	0,472	0,373	0,275
0,330	0,260	0,870	0,187	1,000	1,000	1,000	0,972	0,877	0,781	0,686	0,591	0,496	0,400	0,305
0,340	0,268	0,866	0,192	1,000	1,000	1,000	0,980	0,888	0,795	0,703	0,610	0,518	0,425	0,333
$\beta_{x,dll}$	0,276	0,862	0,197	1,000	1,000	1,000	0,988	0,899	0,809	0,719	0,629	0,539	0,449	0,359
0,360	0,284	0,858	0,202	1,000	1,000	1,000	0,996	0,908	0,821	0,734	0,646	0,559	0,472	0,384
0,370	0,291	0,854	0,206	1,000	1,000	1,000	1,000	0,918	0,833	0,748	0,663	0,578	0,493	0,408
0,380	0,299	0,850	0,211	1,000	1,000	1,000	1,000	0,927	0,844	0,761	0,679	0,596	0,513	0,430
0,390	0,307	0,846	0,215	1,000	1,000	1,000	1,000	0,935	0,855	0,774	0,693	0,613	0,532	0,452
0,400	0,315	0,843	0,220	1,000	1,000	1,000	1,000	0,943	0,865	0,786	0,708	0,629	0,550	0,472
0,410	0,323	0,839	0,224	1,000	1,000	1,000	1,000	0,951	0,874	0,798	0,721	0,644	0,568	0,491
0,420	0,331	0,835	0,229	1,000	1,000	1,000	1,000	0,958	0,884	0,809	0,734	0,659	0,584	0,509
0,430	0,339	0,831	0,233	1,000	1,000	1,000	1,000	0,965	0,892	0,819	0,746	0,673	0,600	0,527
0,440	0,347	0,827	0,237	1,000	1,000	1,000	1,000	0,972	0,901	0,829	0,758	0,686	0,615	0,543
0,450	0,354	0,823	0,242	1,000	1,000	1,000	1,000	0,978	0,908	0,839	0,769	0,699	0,629	0,559
0,460	0,362	0,819	0,246	1,000	1,000	1,000	1,000	0,984	0,916	0,848	0,779	0,711	0,643	0,574
0,470	0,370	0,815	0,250	1,000	1,000	1,000	1,000	0,990	0,923	0,856	0,790	0,723	0,656	0,589
0,480	0,378	0,811	0,254	1,000	1,000	1,000	1,000	0,996	0,930	0,865	0,799	0,734	0,668	0,603
0,490	0,386	0,807	0,258	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,937	0,873	0,809	0,744	0,680	0,616
0,500	0,394	0,803	0,262	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,943	0,881	0,818	0,755	0,692	0,629

Concreto C60														
Aço CA-60			$\gamma_s = 1,15$		β'_s para (d'/d) =									
β_x	β_y	β_z	β_c	β_s	0,025	0,050	0,075	0,100	0,125	0,150	0,175	0,200	0,225	0,250
0,010	0,008	0,996	0,006	1,000										
0,020	0,016	0,992	0,012	1,000										
0,030	0,023	0,988	0,019	1,000	0,021									
0,040	0,031	0,985	0,025	1,000	0,063									
0,050	0,039	0,981	0,031	1,000	0,106									
0,060	0,047	0,977	0,037	1,000	0,150	0,043								
0,070	0,054	0,973	0,043	1,000	0,195	0,087								
0,080	0,062	0,969	0,049	1,000	0,241	0,131	0,022							
0,090	0,070	0,965	0,054	1,000	0,288	0,177	0,066							
0,100	0,078	0,961	0,060	1,000	0,335	0,224	0,112							
0,110	0,085	0,957	0,066	1,000	0,384	0,271	0,158	0,045						
0,120	0,093	0,954	0,072	1,000	0,435	0,320	0,206	0,091						
0,130	0,101	0,950	0,077	1,000	0,486	0,370	0,254	0,139	0,023					
0,140	0,109	0,946	0,083	1,000	0,538	0,421	0,304	0,187	0,070					
0,150	0,116	0,942	0,088	1,000	0,592	0,474	0,355	0,237	0,118					
0,160	0,124	0,938	0,094	1,000	0,647	0,527	0,407	0,288	0,168	0,048				
0,170	0,132	0,934	0,099	1,000	0,703	0,582	0,461	0,339	0,218	0,097				
0,180	0,140	0,930	0,105	1,000	0,761	0,638	0,515	0,393	0,270	0,147	0,025			
0,190	0,147	0,926	0,110	1,000	0,820	0,696	0,571	0,447	0,323	0,199	0,075			
0,200	0,155	0,923	0,115	1,000	0,880	0,755	0,629	0,503	0,377	0,252	0,126			
0,210	0,163	0,919	0,121	1,000	0,943	0,815	0,688	0,560	0,433	0,306	0,178	0,051		
0,220	0,171	0,915	0,126	1,000	1,000	0,877	0,748	0,619	0,490	0,361	0,232	0,103		
0,230	0,178	0,911	0,131	1,000	1,000	0,908	0,782	0,656	0,530	0,404	0,278	0,151	0,025	
0,240	0,186	0,907	0,136	1,000	1,000	0,919	0,798	0,677	0,556	0,435	0,314	0,193	0,073	
0,250	0,194	0,903	0,141	1,000	1,000	0,928	0,812	0,696	0,580	0,464	0,348	0,232	0,116	
0,260	0,202	0,899	0,146	1,000	1,000	0,937	0,826	0,714	0,603	0,491	0,379	0,268	0,156	0,045
0,270	0,209	0,895	0,151	1,000	1,000	0,946	0,838	0,731	0,623	0,516	0,408	0,301	0,193	0,086
0,280	0,217	0,892	0,156	1,000	1,000	0,953	0,850	0,746	0,642	0,539	0,435	0,332	0,228	0,124
0,290	0,225	0,888	0,161	1,000	1,000	0,961	0,860	0,760	0,660	0,560	0,460	0,360	0,260	0,160
0,300	0,233	0,884	0,166	1,000	1,000	0,967	0,870	0,774	0,677	0,580	0,484	0,387	0,290	0,193
0,310	0,240	0,880	0,171	1,000	1,000	0,973	0,880	0,786	0,693	0,599	0,505	0,412	0,318	0,225
0,320	0,248	0,876	0,175	1,000	1,000	0,979	0,889	0,798	0,707	0,617	0,526	0,435	0,345	0,254
0,330	0,256	0,872	0,180	1,000	1,000	0,985	0,897	0,809	0,721	0,633	0,545	0,457	0,369	0,281
0,340	0,264	0,868	0,185	1,000	1,000	0,990	0,905	0,819	0,734	0,649	0,563	0,478	0,393	0,307
$\beta_{x,dll}$	0,271	0,864	0,189	1,000	1,000	0,995	0,912	0,829	0,746	0,663	0,580	0,497	0,415	0,332
0,360	0,279	0,861	0,194	1,000	1,000	0,999	0,919	0,838	0,758	0,677	0,596	0,516	0,435	0,355
0,370	0,287	0,857	0,198	1,000	1,000	1,000	0,925	0,847	0,769	0,690	0,612	0,533	0,455	0,376
0,380	0,295	0,853	0,203	1,000	1,000	1,000	0,932	0,855	0,779	0,702	0,626	0,550	0,473	0,397
0,390	0,302	0,849	0,207	1,000	1,000	1,000	0,937	0,863	0,789	0,714	0,640	0,565	0,491	0,417
0,400	0,310	0,845	0,212	1,000	1,000	1,000	0,943	0,870	0,798	0,725	0,653	0,580	0,508	0,435
0,410	0,318	0,841	0,216	1,000	1,000	1,000	0,948	0,878	0,807	0,736	0,665	0,594	0,524	0,453
0,420	0,326	0,837	0,220	1,000	1,000	1,000	0,953	0,884	0,815	0,746	0,677	0,608	0,539	0,470
0,430	0,333	0,833	0,224	1,000	1,000	1,000	0,958	0,891	0,823	0,756	0,688	0,621	0,553	0,486
0,440	0,341	0,830	0,228	1,000	1,000	1,000	0,963	0,897	0,831	0,765	0,699	0,633	0,567	0,501
0,450	0,349	0,826	0,233	1,000	1,000	1,000	0,967	0,903	0,838	0,774	0,709	0,645	0,580	0,516
0,460	0,357	0,822	0,237	1,000	1,000	1,000	0,971	0,908	0,845	0,782	0,719	0,656	0,593	0,530
0,470	0,364	0,818	0,241	1,000	1,000	1,000	0,975	0,914	0,852	0,790	0,728	0,667	0,605	0,543
0,480	0,372	0,814	0,245	1,000	1,000	1,000	0,979	0,919	0,858	0,798	0,737	0,677	0,617	0,556
0,490	0,380	0,810	0,248	1,000	1,000	1,000	0,983	0,924	0,865	0,805	0,746	0,687	0,628	0,568
0,500	0,388	0,806	0,252	1,000	1,000	1,000	0,987	0,928	0,870	0,812	0,754	0,696	0,638	0,580

Concreto C70														
Aço CA-60			$\gamma_s = 1,15$		β'_s para (d'/d) =									
β_x	β_y	β_z	β_c	β_s	0,025	0,050	0,075	0,100	0,125	0,150	0,175	0,200	0,225	0,250
0,010	0,008	0,996	0,006	1,000										
0,020	0,015	0,993	0,011	1,000										
0,030	0,023	0,989	0,017	1,000	0,021									
0,040	0,030	0,985	0,023	1,000	0,063									
0,050	0,038	0,981	0,028	1,000	0,106									
0,060	0,045	0,978	0,034	1,000	0,150	0,043								
0,070	0,053	0,974	0,039	1,000	0,195	0,087								
0,080	0,060	0,970	0,045	1,000	0,241	0,131	0,022							
0,090	0,068	0,966	0,050	1,000	0,288	0,177	0,066							
0,100	0,075	0,963	0,055	1,000	0,335	0,224	0,112							
0,110	0,083	0,959	0,061	1,000	0,384	0,271	0,158	0,045						
0,120	0,090	0,955	0,066	1,000	0,435	0,320	0,206	0,091						
0,130	0,098	0,951	0,071	1,000	0,486	0,370	0,254	0,139	0,023					
0,140	0,105	0,948	0,076	1,000	0,538	0,421	0,304	0,187	0,070					
0,150	0,113	0,944	0,081	1,000	0,592	0,474	0,355	0,237	0,118					
0,160	0,120	0,940	0,086	1,000	0,647	0,527	0,407	0,288	0,168	0,048				
0,170	0,128	0,936	0,091	1,000	0,703	0,582	0,461	0,339	0,218	0,097				
0,180	0,135	0,933	0,096	1,000	0,761	0,638	0,515	0,393	0,270	0,147	0,025			
0,190	0,143	0,929	0,101	1,000	0,820	0,696	0,571	0,447	0,323	0,199	0,075			
0,200	0,150	0,925	0,106	1,000	0,880	0,755	0,629	0,503	0,377	0,252	0,126			
0,210	0,158	0,921	0,111	1,000	0,942	0,815	0,687	0,560	0,433	0,305	0,178	0,051		
0,220	0,165	0,918	0,116	1,000	0,948	0,826	0,705	0,583	0,462	0,340	0,219	0,097		
0,230	0,173	0,914	0,121	1,000	0,953	0,837	0,720	0,604	0,488	0,372	0,256	0,139	0,023	
0,240	0,180	0,910	0,125	1,000	0,958	0,846	0,735	0,624	0,512	0,401	0,290	0,178	0,067	
0,250	0,188	0,906	0,130	1,000	0,962	0,855	0,748	0,641	0,535	0,428	0,321	0,214	0,107	
0,260	0,195	0,903	0,135	1,000	0,966	0,863	0,761	0,658	0,555	0,452	0,349	0,247	0,144	0,041
0,270	0,203	0,899	0,139	1,000	0,970	0,871	0,772	0,673	0,574	0,475	0,376	0,277	0,178	0,079
0,280	0,210	0,895	0,144	1,000	0,974	0,878	0,783	0,687	0,592	0,496	0,401	0,305	0,210	0,115
0,290	0,218	0,891	0,148	1,000	0,977	0,885	0,793	0,700	0,608	0,516	0,424	0,332	0,240	0,147
0,300	0,225	0,888	0,153	1,000	0,980	0,891	0,802	0,713	0,624	0,535	0,445	0,356	0,267	0,178
0,310	0,233	0,884	0,157	1,000	0,983	0,897	0,810	0,724	0,638	0,552	0,466	0,379	0,293	0,207
0,320	0,240	0,880	0,162	1,000	0,986	0,902	0,818	0,735	0,651	0,568	0,484	0,401	0,317	0,234
0,330	0,248	0,876	0,166	1,000	0,988	0,907	0,826	0,745	0,664	0,583	0,502	0,421	0,340	0,259
0,340	0,255	0,873	0,170	1,000	0,990	0,912	0,833	0,755	0,676	0,597	0,519	0,440	0,362	0,283
$\beta_{x,dll}$	0,263	0,869	0,174	1,000	0,993	0,916	0,840	0,764	0,687	0,611	0,535	0,458	0,382	0,305
0,360	0,270	0,865	0,179	1,000	0,995	0,921	0,846	0,772	0,698	0,624	0,549	0,475	0,401	0,327
0,370	0,278	0,861	0,183	1,000	0,997	0,925	0,852	0,780	0,708	0,636	0,563	0,491	0,419	0,347
0,380	0,285	0,858	0,187	1,000	0,999	0,928	0,858	0,788	0,717	0,647	0,577	0,506	0,436	0,366
0,390	0,293	0,854	0,191	1,000	1,000	0,932	0,863	0,795	0,726	0,658	0,589	0,521	0,452	0,384
0,400	0,300	0,850	0,195	1,000	1,000	0,935	0,869	0,802	0,735	0,668	0,601	0,535	0,468	0,401
0,410	0,308	0,846	0,199	1,000	1,000	0,939	0,873	0,808	0,743	0,678	0,613	0,548	0,482	0,417
0,420	0,315	0,843	0,203	1,000	1,000	0,942	0,878	0,815	0,751	0,687	0,624	0,560	0,496	0,433
0,430	0,323	0,839	0,207	1,000	1,000	0,945	0,883	0,820	0,758	0,696	0,634	0,572	0,510	0,448
0,440	0,330	0,835	0,211	1,000	1,000	0,948	0,887	0,826	0,765	0,705	0,644	0,583	0,522	0,462
0,450	0,338	0,831	0,215	1,000	1,000	0,950	0,891	0,831	0,772	0,713	0,653	0,594	0,535	0,475
0,460	0,345	0,828	0,218	1,000	1,000	0,953	0,895	0,837	0,779	0,720	0,662	0,604	0,546	0,488
0,470	0,353	0,824	0,222	1,000	1,000	0,955	0,898	0,842	0,785	0,728	0,671	0,614	0,557	0,500
0,480	0,360	0,820	0,226	1,000	1,000	0,958	0,902	0,846	0,791	0,735	0,679	0,624	0,568	0,512
0,490	0,368	0,816	0,229	1,000	1,000	0,960	0,905	0,851	0,796	0,742	0,687	0,633	0,578	0,524
0,500	0,375	0,813	0,233	1,000	1,000	0,962	0,909	0,855	0,802	0,748	0,695	0,641	0,588	0,535

Concreto C80														
Aço CA-60			$\gamma_s = 1,15$		β'_s para (d'/d) =									
β_x	β_y	β_z	β_c	β_s	0,025	0,050	0,075	0,100	0,125	0,150	0,175	0,200	0,225	0,250
0,010	0,007	0,996	0,005	1,000										
0,020	0,015	0,993	0,010	1,000										
0,030	0,022	0,989	0,016	1,000	0,021									
0,040	0,029	0,986	0,021	1,000	0,063									
0,050	0,036	0,982	0,026	1,000	0,106									
0,060	0,044	0,978	0,031	1,000	0,150	0,043								
0,070	0,051	0,975	0,036	1,000	0,195	0,087								
0,080	0,058	0,971	0,041	1,000	0,241	0,131	0,022							
0,090	0,065	0,967	0,046	1,000	0,288	0,177	0,066							
0,100	0,073	0,964	0,050	1,000	0,335	0,224	0,112							
0,110	0,080	0,960	0,055	1,000	0,384	0,271	0,158	0,045						
0,120	0,087	0,957	0,060	1,000	0,435	0,320	0,206	0,091						
0,130	0,094	0,953	0,065	1,000	0,486	0,370	0,254	0,139	0,023					
0,140	0,102	0,949	0,070	1,000	0,538	0,421	0,304	0,187	0,070					
0,150	0,109	0,946	0,074	1,000	0,592	0,474	0,355	0,237	0,118					
0,160	0,116	0,942	0,079	1,000	0,647	0,527	0,407	0,288	0,168	0,048				
0,170	0,123	0,938	0,084	1,000	0,703	0,582	0,461	0,339	0,218	0,097				
0,180	0,131	0,935	0,088	1,000	0,761	0,638	0,515	0,393	0,270	0,147	0,025			
0,190	0,138	0,931	0,093	1,000	0,820	0,696	0,571	0,447	0,323	0,199	0,075			
0,200	0,145	0,928	0,097	1,000	0,880	0,755	0,629	0,503	0,377	0,252	0,126			
0,210	0,152	0,924	0,102	1,000	0,923	0,798	0,674	0,549	0,424	0,299	0,175	0,050		
0,220	0,160	0,920	0,106	1,000	0,929	0,810	0,691	0,572	0,453	0,333	0,214	0,095		
0,230	0,167	0,917	0,110	1,000	0,934	0,820	0,706	0,592	0,478	0,364	0,251	0,137	0,023	
0,240	0,174	0,913	0,115	1,000	0,939	0,830	0,720	0,611	0,502	0,393	0,284	0,175	0,065	
0,250	0,181	0,909	0,119	1,000	0,943	0,838	0,734	0,629	0,524	0,419	0,314	0,210	0,105	
0,260	0,189	0,906	0,123	1,000	0,947	0,846	0,746	0,645	0,544	0,443	0,343	0,242	0,141	0,040
0,270	0,196	0,902	0,128	1,000	0,951	0,854	0,757	0,660	0,563	0,466	0,369	0,272	0,175	0,078
0,280	0,203	0,899	0,132	1,000	0,954	0,861	0,767	0,674	0,580	0,487	0,393	0,299	0,206	0,112
0,290	0,210	0,895	0,136	1,000	0,958	0,867	0,777	0,687	0,596	0,506	0,416	0,325	0,235	0,145
0,300	0,218	0,891	0,140	1,000	0,961	0,873	0,786	0,699	0,611	0,524	0,437	0,349	0,262	0,175
0,310	0,225	0,888	0,144	1,000	0,963	0,879	0,794	0,710	0,625	0,541	0,456	0,372	0,287	0,203
0,320	0,232	0,884	0,148	1,000	0,966	0,884	0,802	0,720	0,639	0,557	0,475	0,393	0,311	0,229
0,330	0,239	0,880	0,152	1,000	0,969	0,889	0,810	0,730	0,651	0,572	0,492	0,413	0,333	0,254
0,340	0,247	0,877	0,156	1,000	0,971	0,894	0,817	0,740	0,663	0,586	0,509	0,431	0,354	0,277
$\beta_{x,dll}$	0,254	0,873	0,160	1,000	0,973	0,898	0,823	0,749	0,674	0,599	0,524	0,449	0,374	0,299
0,360	0,261	0,870	0,164	1,000	0,975	0,902	0,830	0,757	0,684	0,611	0,539	0,466	0,393	0,320
0,370	0,268	0,866	0,168	1,000	0,977	0,906	0,835	0,765	0,694	0,623	0,552	0,481	0,411	0,340
0,380	0,276	0,862	0,172	1,000	0,979	0,910	0,841	0,772	0,703	0,634	0,565	0,496	0,427	0,358
0,390	0,283	0,859	0,175	1,000	0,981	0,914	0,846	0,779	0,712	0,645	0,578	0,511	0,443	0,376
0,400	0,290	0,855	0,179	1,000	0,982	0,917	0,851	0,786	0,720	0,655	0,589	0,524	0,458	0,393
0,410	0,297	0,851	0,183	1,000	0,984	0,920	0,856	0,792	0,728	0,665	0,601	0,537	0,473	0,409
0,420	0,305	0,848	0,187	1,000	0,986	0,923	0,861	0,798	0,736	0,674	0,611	0,549	0,487	0,424
0,430	0,312	0,844	0,190	1,000	0,987	0,926	0,865	0,804	0,743	0,682	0,621	0,561	0,500	0,439
0,440	0,319	0,841	0,194	1,000	0,988	0,929	0,869	0,810	0,750	0,691	0,631	0,572	0,512	0,453
0,450	0,326	0,837	0,197	1,000	0,990	0,931	0,873	0,815	0,757	0,699	0,640	0,582	0,524	0,466
0,460	0,334	0,833	0,201	1,000	0,991	0,934	0,877	0,820	0,763	0,706	0,649	0,592	0,535	0,478
0,470	0,341	0,830	0,204	1,000	0,992	0,936	0,881	0,825	0,769	0,713	0,658	0,602	0,546	0,491
0,480	0,348	0,826	0,208	1,000	0,993	0,939	0,884	0,830	0,775	0,720	0,666	0,611	0,557	0,502
0,490	0,355	0,822	0,211	1,000	0,994	0,941	0,888	0,834	0,781	0,727	0,674	0,620	0,567	0,513
0,500	0,363	0,819	0,214	1,000	0,996	0,943	0,891	0,838	0,786	0,734	0,681	0,629	0,576	0,524

Concreto C90														
Aço CA-60			$\gamma_s = 1,15$		β'_s para (d'/d) =									
β_x	β_y	β_z	β_c	β_s	0,025	0,050	0,075	0,100	0,125	0,150	0,175	0,200	0,225	0,250
0,010	0,007	0,997	0,005	1,000										
0,020	0,014	0,993	0,009	1,000										
0,030	0,021	0,990	0,014	1,000	0,021									
0,040	0,028	0,986	0,019	1,000	0,063									
0,050	0,035	0,983	0,023	1,000	0,106									
0,060	0,042	0,979	0,028	1,000	0,150	0,043								
0,070	0,049	0,976	0,033	1,000	0,195	0,087								
0,080	0,056	0,972	0,037	1,000	0,241	0,131	0,022							
0,090	0,063	0,969	0,041	1,000	0,288	0,177	0,066							
0,100	0,070	0,965	0,046	1,000	0,335	0,224	0,112							
0,110	0,077	0,962	0,050	1,000	0,384	0,271	0,158	0,045						
0,120	0,084	0,958	0,055	1,000	0,435	0,320	0,206	0,091						
0,130	0,091	0,955	0,059	1,000	0,486	0,370	0,254	0,139	0,023					
0,140	0,098	0,951	0,063	1,000	0,538	0,421	0,304	0,187	0,070					
0,150	0,105	0,948	0,068	1,000	0,592	0,474	0,355	0,237	0,118					
0,160	0,112	0,944	0,072	1,000	0,647	0,527	0,407	0,288	0,168	0,048				
0,170	0,119	0,941	0,076	1,000	0,703	0,582	0,461	0,339	0,218	0,097				
0,180	0,126	0,937	0,080	1,000	0,761	0,638	0,515	0,393	0,270	0,147	0,025			
0,190	0,133	0,934	0,084	1,000	0,820	0,696	0,571	0,447	0,323	0,199	0,075			
0,200	0,140	0,930	0,089	1,000	0,880	0,755	0,629	0,503	0,377	0,252	0,126			
0,210	0,147	0,927	0,093	1,000	0,922	0,797	0,673	0,548	0,424	0,299	0,174	0,050		
0,220	0,154	0,923	0,097	1,000	0,928	0,809	0,690	0,571	0,452	0,333	0,214	0,095		
0,230	0,161	0,920	0,101	1,000	0,933	0,819	0,705	0,592	0,478	0,364	0,250	0,137	0,023	
0,240	0,168	0,916	0,105	1,000	0,937	0,828	0,719	0,610	0,501	0,392	0,283	0,174	0,065	
0,250	0,175	0,913	0,109	1,000	0,942	0,837	0,733	0,628	0,523	0,419	0,314	0,209	0,105	
0,260	0,182	0,909	0,112	1,000	0,946	0,845	0,745	0,644	0,543	0,443	0,342	0,242	0,141	0,040
0,270	0,189	0,906	0,116	1,000	0,950	0,853	0,756	0,659	0,562	0,465	0,368	0,271	0,174	0,078
0,280	0,196	0,902	0,120	1,000	0,953	0,860	0,766	0,673	0,579	0,486	0,392	0,299	0,206	0,112
0,290	0,203	0,899	0,124	1,000	0,956	0,866	0,776	0,686	0,595	0,505	0,415	0,325	0,235	0,144
0,300	0,210	0,895	0,128	1,000	0,959	0,872	0,785	0,698	0,610	0,523	0,436	0,349	0,262	0,174
0,310	0,217	0,892	0,132	1,000	0,962	0,878	0,793	0,709	0,625	0,540	0,456	0,371	0,287	0,203
0,320	0,224	0,888	0,135	1,000	0,965	0,883	0,801	0,719	0,638	0,556	0,474	0,392	0,311	0,229
0,330	0,231	0,885	0,139	1,000	0,967	0,888	0,809	0,729	0,650	0,571	0,492	0,412	0,333	0,254
0,340	0,238	0,881	0,143	1,000	0,970	0,893	0,816	0,739	0,662	0,585	0,508	0,431	0,354	0,277
$\beta_{x,dll}$	0,245	0,878	0,146	1,000	0,972	0,897	0,822	0,748	0,673	0,598	0,523	0,449	0,374	0,299
0,360	0,252	0,874	0,150	1,000	0,974	0,901	0,828	0,756	0,683	0,610	0,538	0,465	0,392	0,320
0,370	0,259	0,871	0,153	1,000	0,976	0,905	0,834	0,764	0,693	0,622	0,552	0,481	0,410	0,339
0,380	0,266	0,867	0,157	1,000	0,978	0,909	0,840	0,771	0,702	0,633	0,565	0,496	0,427	0,358
0,390	0,273	0,864	0,160	1,000	0,979	0,912	0,845	0,778	0,711	0,644	0,577	0,510	0,443	0,376
0,400	0,280	0,860	0,164	1,000	0,981	0,916	0,850	0,785	0,719	0,654	0,589	0,523	0,458	0,392
0,410	0,287	0,857	0,167	1,000	0,983	0,919	0,855	0,791	0,727	0,664	0,600	0,536	0,472	0,408
0,420	0,294	0,853	0,171	1,000	0,984	0,922	0,860	0,797	0,735	0,673	0,610	0,548	0,486	0,424
0,430	0,301	0,850	0,174	1,000	0,986	0,925	0,864	0,803	0,742	0,681	0,621	0,560	0,499	0,438
0,440	0,308	0,846	0,177	1,000	0,987	0,928	0,868	0,809	0,749	0,690	0,630	0,571	0,511	0,452
0,450	0,315	0,843	0,180	1,000	0,988	0,930	0,872	0,814	0,756	0,698	0,640	0,581	0,523	0,465
0,460	0,322	0,839	0,184	1,000	0,990	0,933	0,876	0,819	0,762	0,705	0,648	0,592	0,535	0,478
0,470	0,329	0,836	0,187	1,000	0,991	0,935	0,880	0,824	0,768	0,713	0,657	0,601	0,546	0,490
0,480	0,336	0,832	0,190	1,000	0,992	0,937	0,883	0,828	0,774	0,719	0,665	0,610	0,556	0,501
0,490	0,343	0,829	0,193	1,000	0,993	0,940	0,886	0,833	0,780	0,726	0,673	0,619	0,566	0,513
0,500	0,350	0,825	0,196	1,000	0,994	0,942	0,890	0,837	0,785	0,733	0,680	0,628	0,576	0,523

5.14 Simbologia específica

a	distância entre pontos de momento fletor nulo
a_h	espaçamento horizontal mínimo livre entre as faces das barras longitudinais, medido no plano da seção transversal
$a_{h,cal}$	valor de a_h calculado
$a_{h,min}$	valor mínimo de a_h
a_v	espaçamento vertical mínimo livre entre as faces das barras longitudinais, medido no plano da seção transversal
a_1	distância além da face de apoio de viga (distância à esquerda)
a_2	distância além da face de apoio de viga (distância à direita)
b_f	largura colaborante da mesa de uma viga de seção T
b_{nec}	largura de viga necessária para abrigar um conjunto de barras em uma mesma camada
b_w	largura da alma de uma viga
b_1	parte de b_f definida pela existência de vigas paralelas
b_2	distância entre vigas paralelas, contadas a partir das mísulas, se existirem
b_3	parte de b_f definida pela existência de lajes em balanço
b_4	largura da laje em balanço, contada a partir da mísula, se existir
c	cateto vertical de mísula
c_{nom}	cobrimento nominal da armadura
d	altura útil da viga - distância da fibra de concreto mais comprimida até o centro de gravidade da armadura tracionada
d_{adt}	valor adotado para d (altura útil)
d_{cal}	valor calculado para d (altura útil)
d_{max}	dimensão máxima característica do agregado graúdo
d'	distância da fibra de concreto mais comprimida até o centro de gravidade da armadura comprimida
d'_{adt}	valor adotado para d'
d'_{cal}	valor calculado para d'
f_{cd}	resistência à compressão do concreto de cálculo
f_{ck}	resistência à compressão do concreto característica
$f_{ctk,sup}$	resistência característica superior à tração do concreto
f_{yd}	resistência ao escoamento do aço de cálculo
f_{yk}	resistência ao escoamento do aço característica
g_k	valor característico da ação permanente
h	altura da viga
h_f	espessura da mesa de uma viga de seção T
ℓ	vão
ℓ_{ef}	vão efetivo de viga
ℓ_0	distância entre faces de dois apoios consecutivos
n	número de barras em uma camada
q_k	valor característico da ação variável
s	espaçamento entre as barras que constituem a armadura de pele
t_1	largura de a apoio paralelo ao vão de viga (largura à esquerda)
t_2	largura de a apoio paralelo ao vão de viga (largura à direita)
x	profundidade da linha neutra
y	profundidade do retângulo de tensões σ_c

y_{cg}	posição do centro de gravidade da seção transversal de um conjunto de barras longitudinais (tracionadas ou comprimidas) em relação ao centro da armadura mais afastada, medida normalmente à linha neutra
y_f	distância do centro de gravidade de uma seção T à fibra da mesa mais afastada da linha neutra, medida normalmente a esta
y_i	posição da barra A_{si} na determinação do centro de gravidade da seção transversal de um conjunto de barras longitudinais (tracionadas ou comprimidas)
y_w	distância do centro de gravidade de uma seção T à fibra da alma mais afastada da linha neutra, medida normalmente a esta
z	braço de alavanca do binário de forças R_{cd} / R_{sd} ou R_{cd1} / R_{sd1}
A_c	área de concreto
A_{cc}	área de concreto comprimido
A_s	área da seção transversal da armadura longitudinal tracionada
A_{si}	área da seção transversal de uma barra que compõe a armadura longitudinal (tracionada ou comprimida)
$A_{s,apoio}$	área da seção transversal da armadura longitudinal tracionada existente em apoio de viga
$A_{s,cal}$	área calculada da seção transversal da armadura longitudinal tracionada
$A_{s,ef}$	área efetiva da seção transversal da armadura longitudinal tracionada
$A_{s,max}$	área máxima da seção transversal da armadura longitudinal tracionada
$A_{s,min}$	área mínima da seção transversal da armadura longitudinal tracionada
$A_{s,pele}$	armadura de pele (armadura lateral de viga)
$A_{s,vão}$	área da seção transversal da armadura longitudinal tracionada existente em vão de viga
A_{s1}	área da seção transversal da armadura longitudinal tracionada, referenciada ao binário M_{Rd1}
A_{s2}	área da seção transversal da armadura longitudinal tracionada, referenciada ao binário M_{Rd2}
A_{s3}	área da seção transversal da armadura longitudinal tracionada, referenciada ao binário M_{Rd3}
A'_s	área da seção transversal da armadura longitudinal comprimida
$A'_{s,cal}$	área calculada da seção transversal da armadura longitudinal comprimida
$A'_{s,ef}$	área efetiva da seção transversal da armadura longitudinal comprimida
E_s	módulo de elasticidade do aço
G_k	valor característico da ação permanente
I	momento de inércia
M_{apoio}	momento fletor existente em apoio de viga
$M_{d,min}$	momento fletor mínimo (valor de cálculo)
M_{gk}	momento fletor característico decorrentes de ações permanentes
M_{qk}	momento fletor característico decorrentes de ações variáveis
$M_{vão}$	momento fletor existente em vão de viga
M_{Rd}	momento fletor resistente de cálculo
M_{Rd1}	momento fletor resistente de cálculo referenciado ao binário R_{cd1} / R_{sd1}
M_{Rd2}	momento fletor resistente de cálculo referenciado ao binário R'_{sd2} / R_{sd2}
M_{Rd3}	momento fletor resistente de cálculo referenciado ao binário R_{cd3} / R_{sd3}
$M_{Rd,mesa}$	momento fletor resistente de cálculo referenciado ao binário $R_{cd,} / R_{sd}$ para a condição $y = h_f$
M_{Sd}	momento fletor solicitante de cálculo
M_{Sd1}	momento fletor solicitante de cálculo que contrapõe ao momento fletor resistente de cálculo M_{Rd1}

M_{sd2}	momento fletor solicitante de cálculo que contrapõe ao momento fletor resistente de cálculo M_{Rd2}
M_{sd3}	momento fletor solicitante de cálculo que contrapõe ao momento fletor resistente de cálculo M_{Rd3}
Q_k	valor característico da ação variável
R_{cd}	força resistente de cálculo atuante na região de concreto comprimido
R_{cd1}	força resistente de cálculo atuante na região de concreto comprimido de área b_w y
R_{cd3}	força resistente de cálculo atuante na região de concreto comprimido de área $(b_f - b_w)$ y
R_{sd}	força resistente de cálculo atuante na armadura tracionada
R_{sd1}	força resistente de cálculo atuante na armadura tracionada de área A_{s1}
R_{sd2}	força resistente de cálculo atuante na armadura tracionada de área A_{s2}
R_{sd3}	força resistente de cálculo atuante na armadura tracionada de área A_{s3}
R'_{sd2}	força resistente de cálculo atuante na armadura comprimida
W_0	módulo de resistência da seção transversal bruta de concreto, relativo à fibra mais tracionada
$W_{0,w}$	módulo de resistência da seção transversal bruta de concreto, relativo à fibra mais tracionada, no caso a fibra da alma (w) mais afastada da linha neutra
α_c	parâmetro de definição da tensão σ_c , considerada constante ao longo de y
β	variável adimensional
β_c	valor adimensional auxiliar
β_s	valor adimensional que define a tensão de tração referente à armadura A_s
β'_s	valor adimensional que define a tensão de compressão referente à armadura A'_s
β_x	valor adimensional que define a posição da linha neutra
$\beta_{x,dnl}$	valor adimensional que define a posição da linha neutra correspondente ao limite de ductilidade da seção transversal
$\beta_{x,23}$	valor de β_x que define a passagem do domínio 2 para o domínio 3
$\beta_{x,34}$	valor de β_x que define a passagem do domínio 3 para o domínio 4
β_y	valor adimensional que define a região de concreto comprimido
β_z	valor adimensional que define o braço de alavanca do binário de forças R_{cd} / R_{sd}
ϵ_c	deformação específica do concreto
ϵ_{cu}	deformação específica de encurtamento do concreto na ruptura
ϵ_{c2}	deformação específica de encurtamento do concreto no início do patamar plástico
ϵ_s	deformação específica do aço à tração
ϵ'_s	deformação específica do aço à compressão
ϵ_{yd}	deformação específica de escoamento do aço
ϕ	diâmetro das barras da armadura
ϕ_ℓ	diâmetro da barra longitudinal
ϕ_t	diâmetro da barra transversal (estribo)
γ_c	coeficiente de ponderação da resistência do concreto
γ_g	coeficiente de ponderação para ações permanentes diretas
γ_q	coeficiente de ponderação para ações variáveis diretas
γ_s	coeficiente de ponderação da resistência do aço
λ	parâmetro de definição da profundidade do retângulo de tensões σ_c
ρ_{max}	taxa geométrica máxima de armadura longitudinal de tração
ρ_{min}	taxa geométrica mínima de armadura longitudinal de tração
ρ_{ret}	taxa geométrica máxima de armadura longitudinal de tração para seção retangular

ρ_T	taxa geométrica máxima de armadura longitudinal de tração para seção T
$\rho_{T,max}$	taxa geométrica máxima de armadura longitudinal de tração para seção T
σ_c	tensão à compressão no concreto
σ_s	tensão à tração na armadura
σ'_s	tensão à compressão na armadura
Δ	percentual que indica variação de área (de armadura ou de concreto)
$\Delta \ell$	trecho de viga

5.15 Exercícios

Ex. 5.1: Definir a curva $M_{Rd} \times A_s$ para a seção abaixo indicada. Mostrar no gráfico:

- os domínios 2, 3 e 4;
- o limite entre viga dútil e frágil; e
- o limite entre peça sub e superarmada.

Use o eixo vertical para a área de armadura e o horizontal para o momento fletor.

Dados:

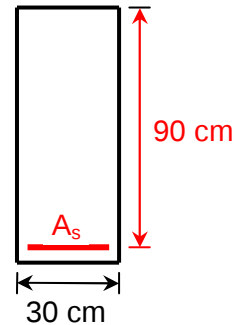
- concreto: C30; e
- aço: CA-50.

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor); e
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$).

Escala:

- $1 \text{ cm}^2 = 1,0 \text{ cm}$; e
- $10 \text{ kNm} = 1,0 \text{ cm}$.



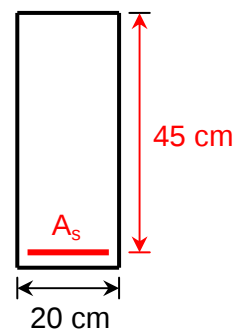
Ex. 5.2: Mantidas as condições de ductilidade, determinar a armadura longitudinal para a seção transversal da viga abaixo representada, a qual deve suportar, simultaneamente, os momentos fletores $M_{gk} = 80 \text{ kNm}$ e $M_{qk} = 25 \text{ kNm}$.

Dados:

- concreto: C25; e
- aço: CA-50.

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor); e
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$).



Ex. 5.3: Mantidas as condições de ductilidade, determinar o máximo momento fletor solicitante de cálculo que a viga de seção transversal abaixo indicada pode suportar. A viga terá:

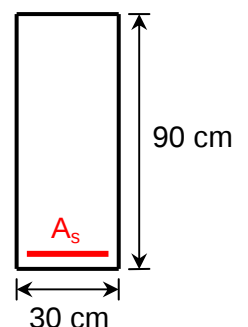
- armadura longitudinal constituída por 7 barras de 16 mm;
- armadura transversal (estribos) constituída por barras de 8 mm;
- dimensão máxima do agregado igual a 25 mm; e
- cobrimento nominal das armaduras igual a 4 cm.

Dados:

- concreto: C35; e
- aço: CA-50.

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor); e
- estado limite último, combinações especiais ($\gamma_g = 1,3$; $\gamma_q = 1,2$; $\gamma_c = 1,2$ e $\gamma_s = 1,15$).



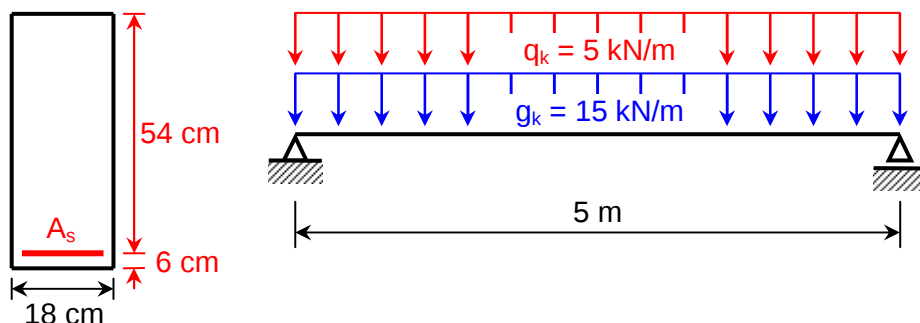
Ex. 5.4: Mantidas as condições de ductilidade, determinar a armadura longitudinal necessária para que a viga abaixo representada.

Dados:

- concreto: C25; e
- aço: CA-50.

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor); e
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$).



Ex. 5.5: A seção de viga abaixo indicada está submetida a um momento fletor solicitante de cálculo igual a 150 kNm. Mantendo-se as condições de ductilidade e sabendo-se que a viga terá:

- armadura longitudinal inferior constituída por 3 barras de 16 mm;
- armadura transversal (estribos) constituída por barras de 5 mm;
- dimensão máxima do agregado igual a 19 mm;
- cobrimento nominal das armaduras igual a 3 cm,

pede-se determinar a altura mínima da viga.

Dados:

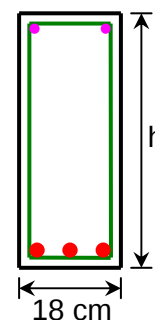
- concreto: C30; e
- aço: CA-50.

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor); e
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$).

Obs.:

- não considerar a resistência do porta-estribo (armadura longitudinal superior).



Ex. 5.6: Uma viga de seção retangular de 20 cm x 60 cm, altura útil correspondente a 55 cm, foi ensaiada à flexão simples em laboratório até atingir o Estado Limite Último. Avaliou-se, ao final do ensaio, que o braço de alavanca z , entre a resultante de compressão no concreto R_{cd} e a resultante de tração na armadura R_{sd} , deveria ser de 46,2 cm. Tendo em vista que a viga só possuía armadura longitudinal de tração A_s , pede-se:

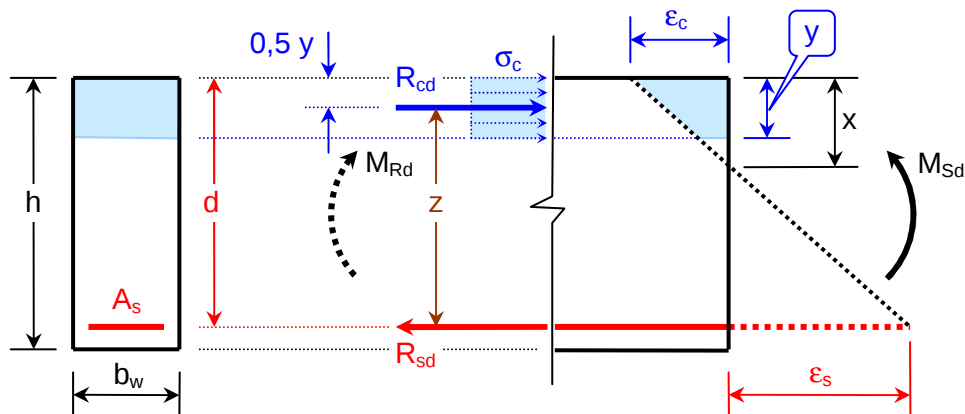
- o valor das deformações no bordo mais comprimido e na armadura tracionada;
- o domínio em que viga se encontrava no instante da ruptura;
- a intensidade do momento fletor de cálculo que levou a viga à ruptura;
- a armadura longitudinal de tração da viga correspondente à situação de ruína; e
- o tipo de ruptura (dútil ou frágil) que a peça apresentou (justificar).

Dados:

- concreto: C25; e
- aço: CA-50.

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor); e
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$).



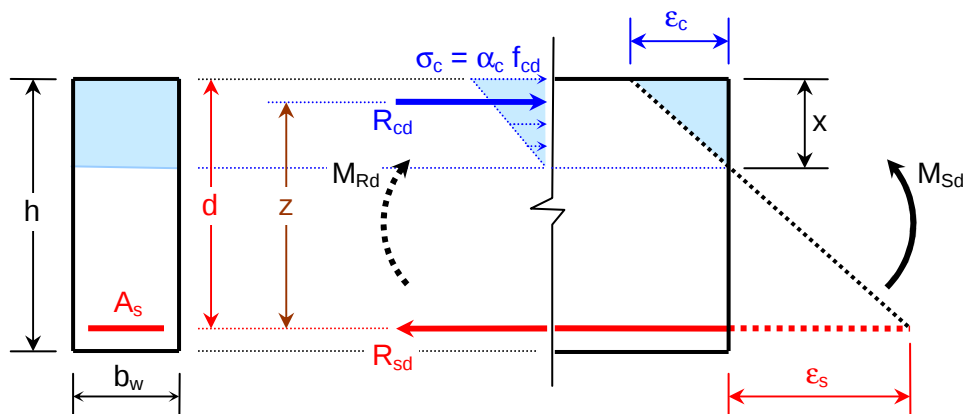
Ex. 5.7: Admitindo-se que a distribuição de tensões na região de concreto comprimido seja triangular e que:

$$M_{Rd} = M_{Sd}$$

$$\beta_x = \frac{x}{d}$$

$$\beta_c = \frac{M_{Rd}}{b_w d^2 f_{cd}}$$

determinar, para vigas de seção retangular, β_c como função única de β_x .



Ex. 5.8: Após realizar o dimensionamento a flexão simples de uma viga de concreto armado, de base 20 cm e altura útil 70 cm, o engenheiro descobriu que não fora considerado no cálculo um dos três coeficientes de segurança exigidos pela ABNT NBR-6118 (γ_g , γ_c , ou γ_s). Tendo em vista que, sem a consideração adequada de um destes coeficientes de segurança, obteve-se para armadura de tração A_s o valor correspondente a 11,566 cm², pede-se:

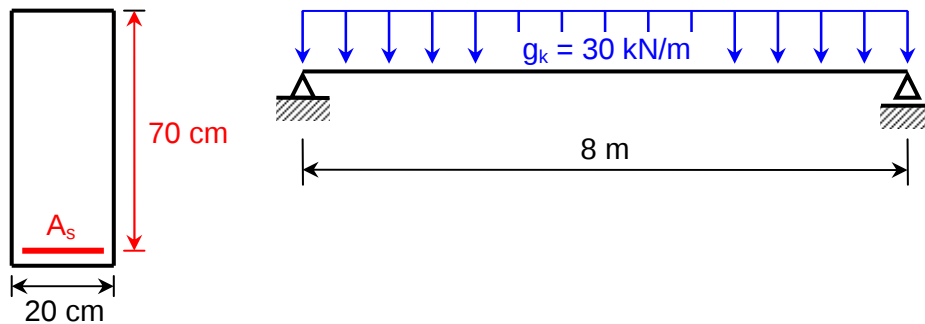
- qual dos três coeficientes foi desconsiderado no cálculo da armadura A_s (tomado igual a 1,0); e
- qual o valor correto da área da armadura tracionada.

Dados:

- concreto: C20; e
- aço: CA-50.

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor); e
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$).



Ex. 5.9: Mantidas as condições de ductilidade, determinar as armaduras longitudinais necessárias para a viga abaixo representada. A viga terá:

- armadura longitudinal constituída por barras de 16 mm;
- armadura transversal (estribos) constituída por barras de 6,3 mm;
- dimensão máxima do agregado igual a 19 mm; e
- cobrimento nominal das armaduras igual a 3 cm.

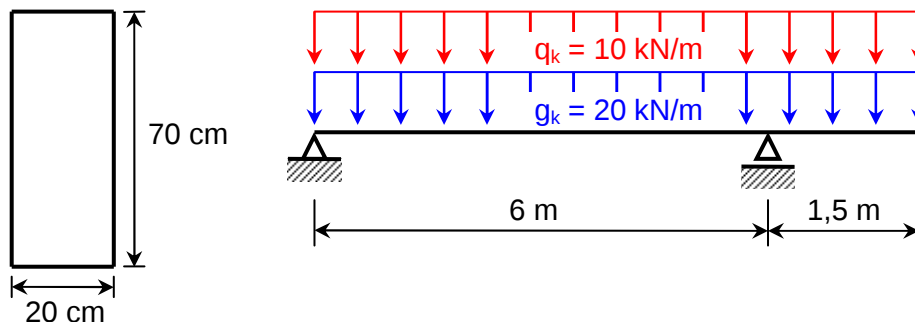
Ao final dos cálculos, apresentar um corte longitudinal esquemático indicando as posições das armaduras positivas e negativas.

Dados:

- concreto: C25; e
- aço: CA-50.

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor); e
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$).



Ex. 5.10: Mantidas as condições de ductilidade, determinar o máximo valor da carga g_k que a viga abaixo representada pode suportar. A viga terá:

- armadura longitudinal inferior, no meio do vão, constituída por 3 barras de 16 mm; e
- armadura longitudinal superior, nos apoios, constituída por 5 barras de 10 mm.

Dados:

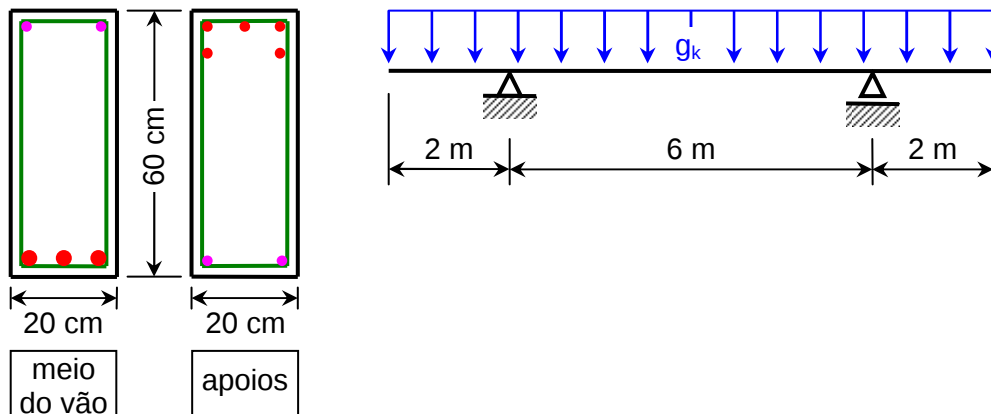
- concreto: C35;
- aço: CA-50; e
- $d = h - 6$ cm.

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor); e
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$).

Obs.:

- não considerar a resistência do porta-estribo (armadura de compressão).



Ex. 5.11: Mantidas as condições de ductilidade, determinar a máxima carga accidental q_k que a viga abaixo representada pode suportar. A viga terá:

- armadura longitudinal inferior constituída por 3 barras de 20 mm;
- armadura transversal (estribos) constituída por barras de 6,3 mm;
- dimensão máxima do agregado igual a 25 mm; e
- cobrimento nominal das armaduras igual a 3 cm.

Dados:

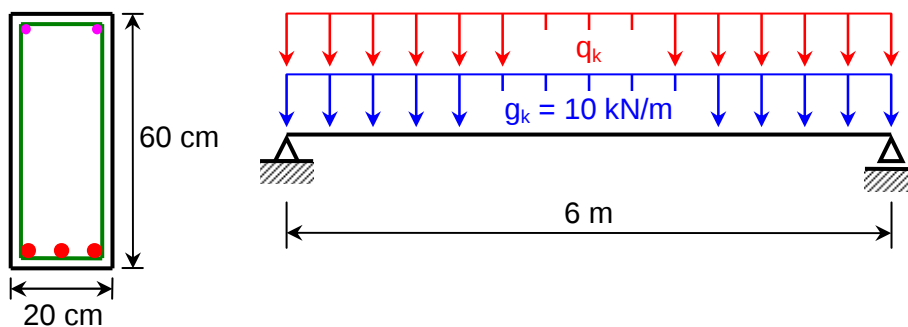
- concreto: C25; e
- aço: CA-50.

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor); e
- estado limite último, combinações especiais ($\gamma_g = 1,3$; $\gamma_q = 1,2$; $\gamma_c = 1,2$ e $\gamma_s = 1,15$).

Obs.:

- não considerar a resistência do porta-estribo (armadura longitudinal superior).



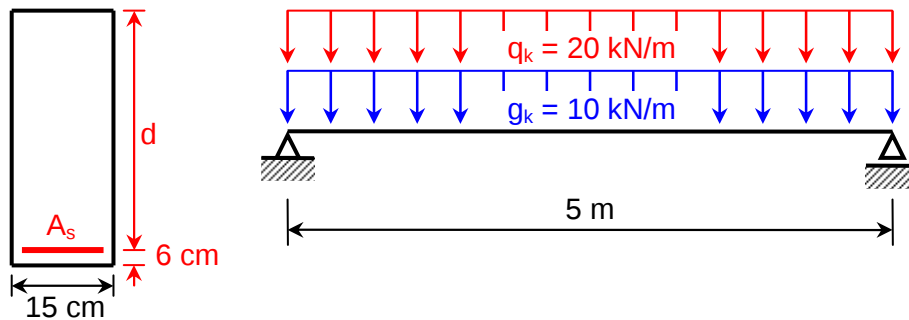
Ex. 5.12: Determinar a menor altura possível para que a viga abaixo representada mantenha as condições de ductilidade e sem a utilização de armadura de compressão. Para esta condição, defina sua armadura longitudinal.

Dados:

- concreto: C35; e
- aço: CA-50.

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor);
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$); e
- peso próprio incluído na carga g_k .



Ex. 5.13: Mantidas as condições de utilidade, determinar a máxima carga permanente G_k que a viga abaixo representada pode suportar. A viga terá:

- armadura longitudinal inferior constituída por 5 barras de 16 mm;
- armadura transversal (estribos) constituída por barras de 6,3 mm;
- dimensão máxima do agregado igual a 19 mm; e
- cobrimento nominal das armaduras igual a 3 cm.

Dados:

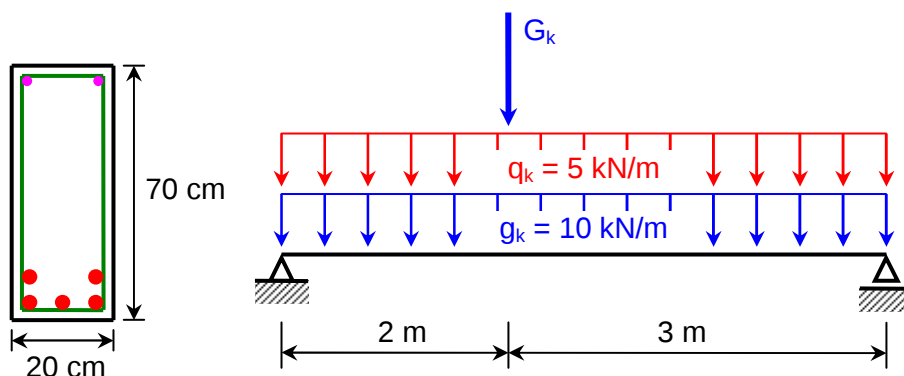
- concreto: C35; e
- aço: CA-50.

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor); e
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$).

Obs.:

- não considerar a resistência do porta estribo (armadura longitudinal superior).



Ex. 5.14: Determinar, para a viga abaixo representada:

- a menor altura possível, respeitando as condições de utilidade e sem a utilização de armadura de compressão; e
- as armaduras positivas e negativas da viga, para a altura definida no item a.

A viga terá:

- armadura longitudinal constituída por barras de 20 mm;
- armadura transversal (estribos) constituída por barras de 8 mm;
- dimensão máxima do agregado igual a 19 mm; e
- cobrimento nominal das armaduras igual a 3 cm.

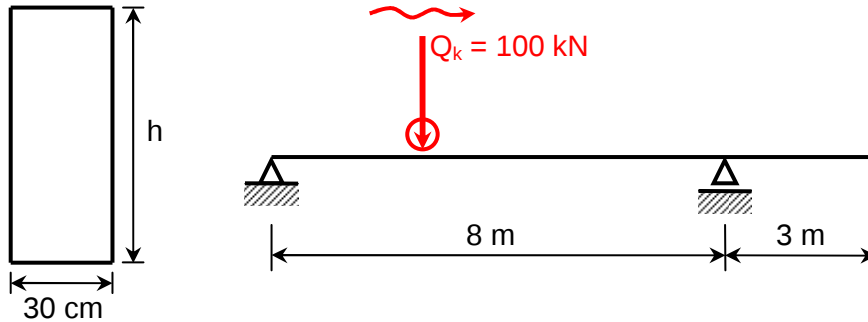
Ao final dos cálculos, apresentar um corte longitudinal esquemático indicando as posições das armaduras positivas e negativas.

Dados:

- concreto: C30; e
- aço: CA-50.

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor);
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$); e
- peso próprio desprezível.



Ex. 5.15: Determinar o menor valor possível para a largura (b_w) da viga de seção retangular abaixo representada de tal forma que sejam mantidas as condições de ductilidade. No meio do vão e no apoio do balanço somente deverão existir armaduras de tração para resistir aos momentos fletores. Para a largura mínima determinada, definir as armaduras no meio do vão e no apoio do balanço. Apresentar um corte longitudinal da viga com o posicionamento das armaduras calculadas. A viga terá:

- armadura longitudinal constituída por barras de 16 mm ;
- armadura transversal (estribos) constituída por barras de 8 mm ;
- dimensão máxima do agregado igual a 19 mm ; e
- cobrimento nominal das armaduras igual a 3 cm .

Dados:

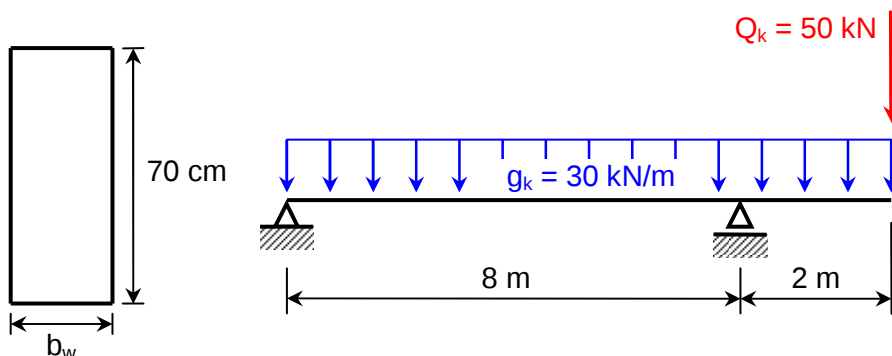
- concreto: C30; e
- aço: CA-50.

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor);
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$); e
- peso próprio incluído na carga g_k .

Obs.:

- a carga concentrada Q_k é acidental, o que vale dizer que ela pode atuar ou não.



Ex. 5.16: Mantidas as condições de ductilidade, determinar o afastamento máximo que as cargas G_k podem ter dos apoios. A viga terá:

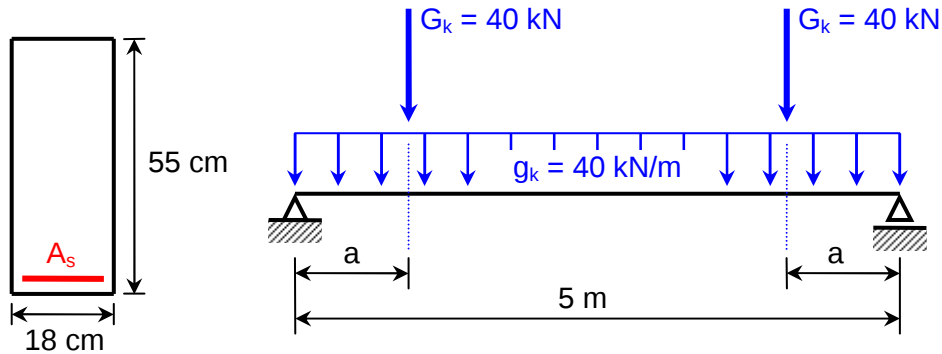
- armadura longitudinal inferior constituída por 5 barras de 16 mm ;
- armadura transversal (estribos) constituída por barras de $6,3 \text{ mm}$;
- dimensão máxima do agregado igual a 19 mm ; e
- cobrimento nominal das armaduras igual a 3 cm .

Dados:

- concreto: C30; e
- aço: CA-50.

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor); e
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$).



Ex. 5.17: Mantidas as condições de ductilidade, determinar o máximo valor da carga móvel Q_k que a viga abaixo representada pode suportar. A viga terá:

- armadura longitudinal inferior, no meio do vão, constituída por 3 barras de 16 mm;
- armadura longitudinal superior, nos apoios, constituída por 5 barras de 12,5 mm;
- armadura transversal (estribos) constituída por barras de 6,3 mm;
- dimensão máxima do agregado igual a 19 mm; e
- cobrimento nominal das armaduras igual a 3 cm.

Dados:

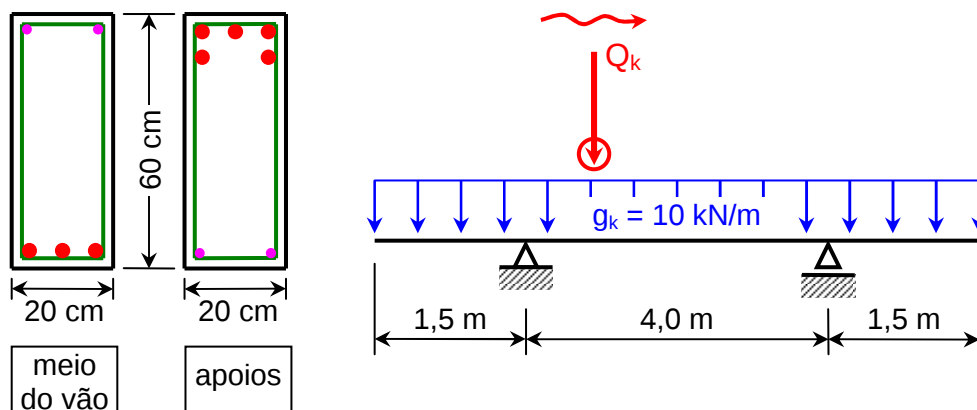
- concreto: C25; e
- aço: CA-50.

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor); e
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$).

Obs.:

- não considerar a resistência do porta-estribo.



Ex. 5.18: Para a viga abaixo representada, determinar:

- a menor seção transversal possível para esta viga de tal forma que sejam mantidas as condições de ductilidade sem o uso de armadura de compressão;
- a armadura necessária para o máximo momento positivo;
- a armadura necessária para o máximo momento negativo; e

- d. a distância, em relação ao apoio A, onde a armadura necessária para o momento positivo correspondesse a 2 barras de 16 mm.

A viga terá:

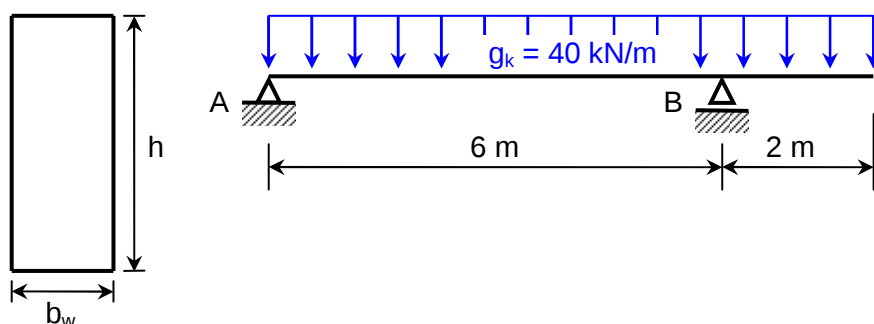
- armadura longitudinal constituída por barras de 16 mm;
- armadura transversal (estribos) constituída por barras de 6,3 mm;
- dimensão máxima do agregado igual a 19 mm;
- cobrimento nominal das armaduras igual a 3 cm; e
- altura útil (d) igual a 4 vezes a largura da base (b_w).

Dados:

- concreto: C30; e
- aço: CA-50.

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor); e
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$).



Ex. 5.19: O carrinho de cargas indicado na figura abaixo suporta um carregamento centrado de 200 kN. Tendo em vista que a definição da estrutura suporte (viga AB) deverá ser feita para o carrinho na posição CD, pede-se:

- a. a menor altura possível para a viga AB de tal forma que na seção C não exista armadura longitudinal de compressão e sejam mantidas as condições de ductilidade; e
- b. as armaduras necessárias nas seções C e D da viga suporte, definidas a partir da altura estabelecida no item a.

Dados:

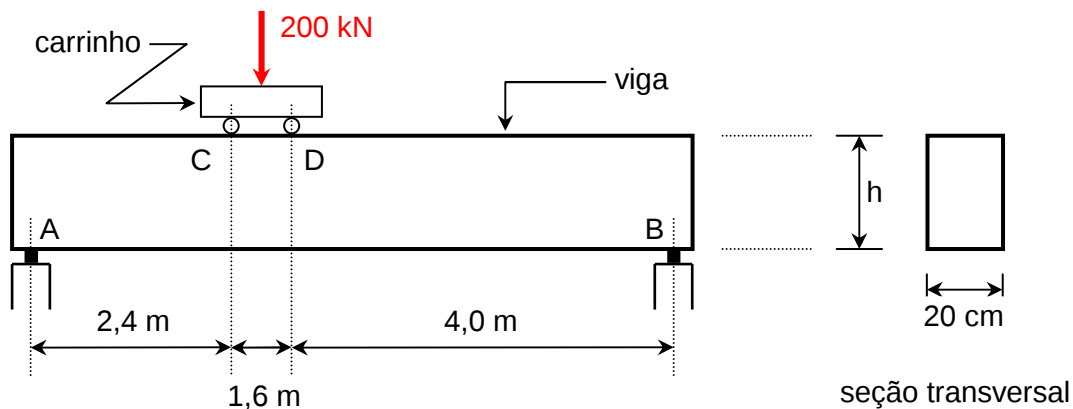
- concreto: C40; e
- aço: CA-50.

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor);
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$); e
- $d = h - 6$ cm.

Obs.:

- ajustar o valor de h para múltiplo de 5 cm; e
- considerar nulos os pesos próprios da viga e do carrinho.



Ex. 5.20: Para o estado de deformação abaixo indicado, determinar:

- o valor limite para a carga Q_k (valor característico); e
- a armadura necessária (cm^2) para a condição estabelecida no item a.

Dados:

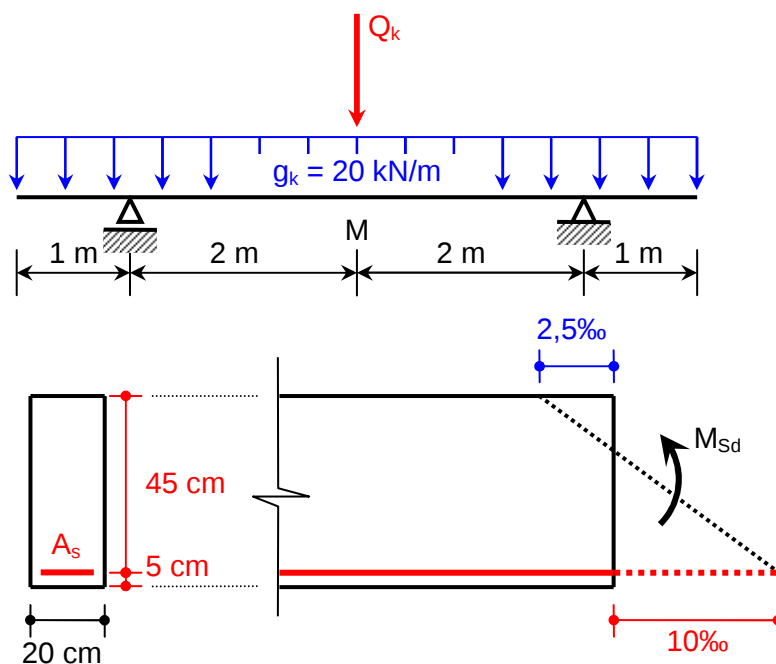
- concreto: C35; e
- aço: CA-50.

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor); e
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$).

Obs.:

- peso próprio da viga incluído na carga g_k .



estado de deformação na seção M
(posição da carga Q_k)

Ex. 5.21: Duas vigas de concreto armado de seções retangulares iguais, mesmo vão, apoios idênticos, materiais de mesma resistência, porém com taxas longitudinais de armadura desiguais, foram submetidas, num ensaio de laboratório, ao mesmo tipo de carregamento, como ilustrado na figura abaixo. Esse carregamento consistiu em duas cargas concentradas, simétricas, aplicadas simultaneamente, cuja intensidade variou de zero até a carga de ruptura.

Antes da ruptura, observou-se que a Viga 01 deu sinais evidentes de esgotamento da sua capacidade resistente, apresentando um quadro de fissuração intenso, enquanto que a Viga 02

não apresentou a mesma sinalização e rompeu bruscamente, sem aviso prévio. Observou-se, também, que a carga de ruptura da Viga 02 foi 47,7% maior que a da Viga 01.

Sabendo-se que a Viga 01 foi armada com 5 barras de 16 mm, determinar:

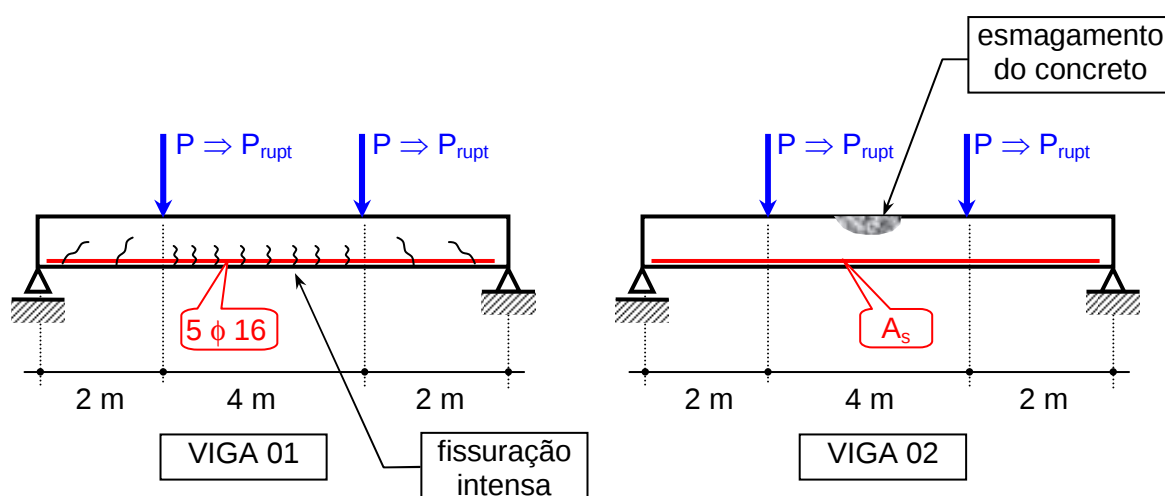
- a carga de ruptura (de cálculo) da Viga 01;
- a carga de ruptura (de cálculo) da Viga 02; e
- a armadura longitudinal de tração (A_s) usada na Viga 02.

Dados:

- concreto: $\sigma_{c,rupt} = f_{cd} = 17,86 \text{ MPa}$;
- aço: $\sigma_{s,rupt} = f_{yd} = 43,5 \text{ MPa}$;
- $b_w = 20 \text{ cm}$;
- $d = 45 \text{ cm}$; e
- $h = 50 \text{ cm}$.

Obs.:

- desconsiderar o próprio da viga.



Ex. 5.22: Mantidas as condições de utilidade, determinar, para a viga abaixo representada:

- a menor altura (h) possível; e
- as armaduras necessárias nas seções A, B e C.

Dados:

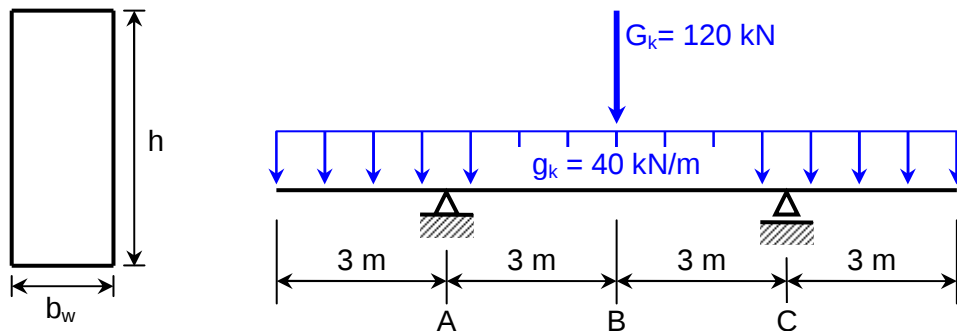
- concreto: C35; e
- aço: CA-50.

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor);
- viga de seção retangular, sem armadura de compressão;
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$);
- $b_w = 15 \text{ cm}$; e
- $h = d + 5 \text{ cm}$

Obs.:

- peso próprio da viga incluído na carga g_k ;
- adotar para h valor múltiplo de 5 cm; e
- considerar carregamentos permanentes (valores característicos).



Ex. 5.23: Mantidas as condições de ductilidade, determinar, para a viga de altura variável abaixo representada, os menores valores possíveis para h_1 e h_2 . Para estes valores determinados, definir as armaduras longitudinais (positiva e negativa) para a seção D. Apresentar uma vista da viga mostrando as posições das armaduras calculadas.

Dados:

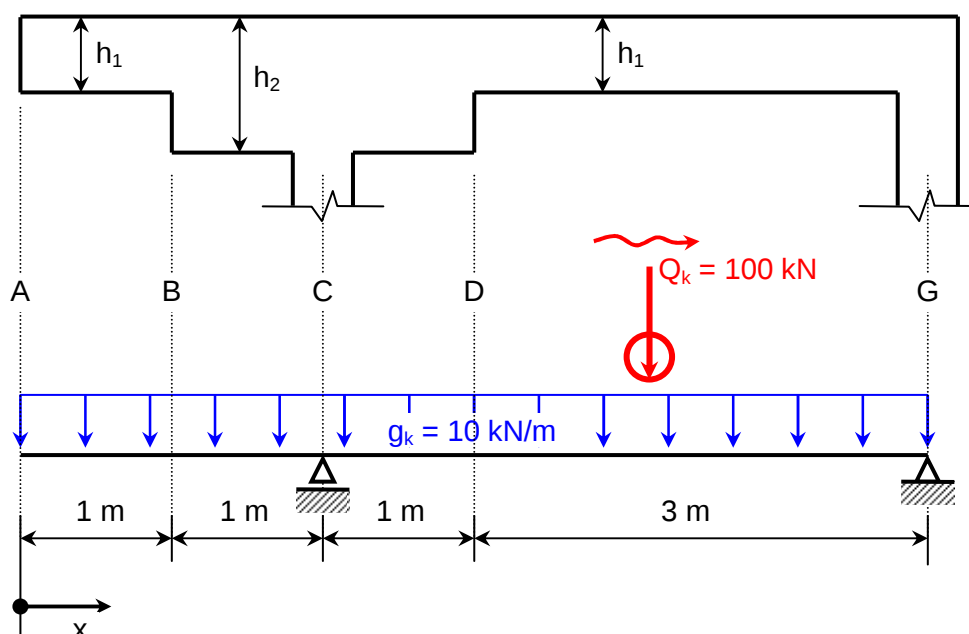
- concreto: C20; e
- aço: CA-25.

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor);
- viga de seção retangular, sem armadura de compressão;
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$);
- $b_w = 20 \text{ cm}$; e
- $h_i = d_i + 5 \text{ cm}$

Obs.:

- peso próprio da viga incluído na carga g_k ;
- adotar para h valor múltiplo de 5 cm; e
- considerar a viga como simplesmente apoiada nos pilares.



Seção	A	B	C	D	E	F	G
x (m)	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
M _{gk} (kNm)	0,0	-5,0	-20,0	0,0	10,0	10,0	0,0
M _{qk} (kNm) (-)	0,0	-100,0	-200,0	-150,0	-100,0	-50,0	0,0
M _{qk} (kNm) (+)	0,0	0,0	-0,0	75,0	100,0	75,0	0,0
M _{Sd} (kNm) (-)	0,0	-147,0	-308,0	-210,0	-130,0	-60,0	0,0
M _{Sd} (kNm) (+)	0,0	-5,0	-20,0	105,0	154,0	119,0	0,0

Ex. 5.24: Mantidas as condições de ductilidade, determinar, para a viga de seção transversal abaixo indicada, o máximo momento fletor solicitante de cálculo que ela pode suportar. A viga terá:

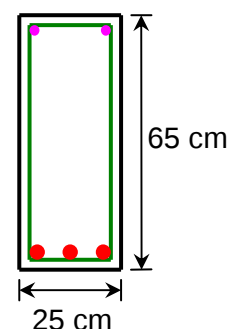
- armadura longitudinal de compressão (superior) constituída por 2 barras de 12,5 mm;
- armadura longitudinal de tração (inferior) constituída por 3 barras de 20 mm;
- armadura transversal (estribos) constituída por barras de 6,3 mm;
- dimensão máxima do agregado igual a 19 mm; e
- cobrimento nominal das armaduras igual a 5 cm.

Dados:

- concreto: C25; e
- aço: CA-50.

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor); e
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$).



Ex. 5.25: Para a seção de viga abaixo indicada, verificar:

- o momento fletor solicitante de cálculo que corresponderia a condição $\varepsilon_s = 7‰$; e
- as condições de ductilidade para as condições estabelecidas no item a.

A viga terá:

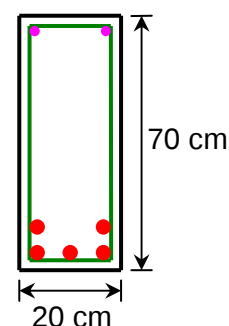
- armadura longitudinal de compressão (superior) constituída por 2 barras de 10 mm;
- armadura longitudinal de tração (inferior) constituída por 5 barras de 16 mm;
- armadura transversal (estribos) constituída por barras de 6,3 mm;
- dimensão máxima do agregado igual a 19 mm; e
- cobrimento nominal das armaduras igual a 3 cm.

Dados:

- concreto: C30; e
- aço: CA-50.

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor); e
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$).



Ex. 5.26: Mantidas as condições de ductilidade, determinar, para a viga abaixo representada:

- as armaduras longitudinais de tração e compressão (A_s e A'_s);
- a armadura longitudinal de tração (A_s), considerando nula a armadura de compressão;
- os valores das tensões de tração e compressão nas armaduras definidas no item a; e
- o valor da tensão de tração na armadura definida no item b.

Dados:

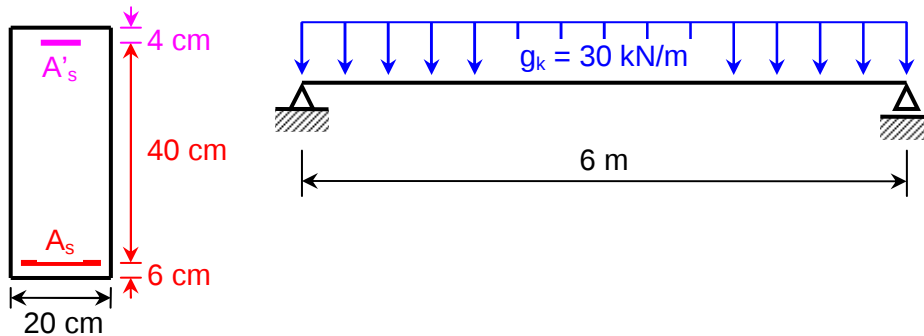
- concreto: C30; e
- aço: CA-50.

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor); e
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$).

Obs.:

- considerar, para o item b, viga superarmada.



Ex. 5.27: A seção transversal da viga abaixo representada está sujeita a um momento fletor solicitante de cálculo igual a 250 kNm e tem uma relação entre as armaduras de tração e de compressão tal que:

$$\frac{A'_s}{(A_s + A'_s)} = 30\%$$

Com base na condição acima, determine:

- a posição da linha neutra;
- a deformação da fibra de concreto mais comprimida;
- o alongamento da armadura tracionada;
- o encurtamento da armadura comprimida;
- a tensão atuante na armadura tracionada;
- a tensão atuante na armadura comprimida;
- a área da seção transversal da armadura tracionada;
- a área da seção transversal da armadura comprimida; e
- as condições de ductilidade.

Dados:

- concreto: C25; e
- aço: CA-50.

Considerar:

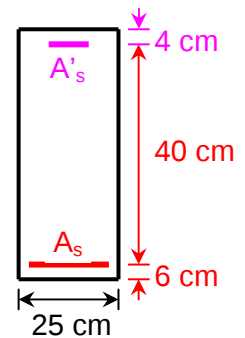
- somente solicitações normais (momento fletor); e
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$).

Ex. 5.28: Mantidas as condições de ductilidade, determinar a máxima carga acidental q_k que a viga abaixo representada pode suportar. A viga terá:

- armadura longitudinal de compressão (superior) constituída por 2 barras de 12,5 mm;
- armadura longitudinal de tração (inferior) constituída por 5 barras de 16 mm;
- armadura transversal (estribos) constituída por barras de 6,3 mm;
- dimensão máxima do agregado igual a 19 mm; e
- cobrimento nominal das armaduras igual a 3 cm.

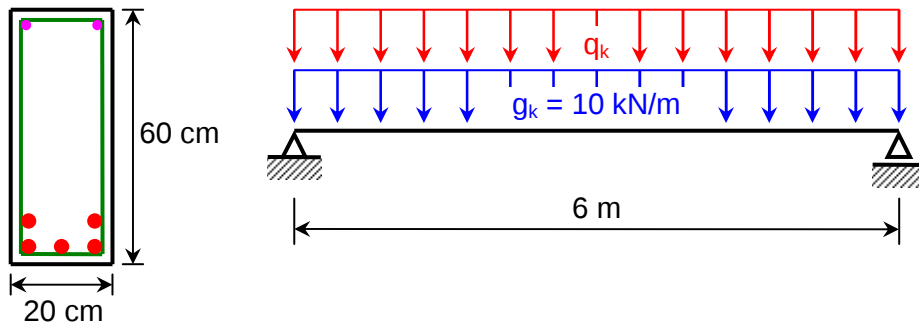
Dados:

- concreto: C35; e
- aço: CA-50.



Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor); e
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$).



Ex. 5.29: Para a viga abaixo esquematizada determinar o máximo vão que esta pode possuir, mantidas as condições de ductilidade. A viga terá:

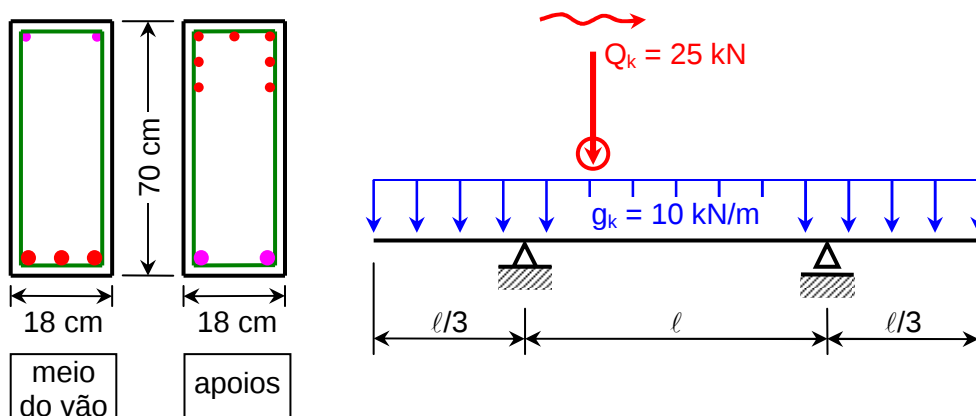
- no meio do vão:
 - ✓ armadura longitudinal de compressão (superior) constituída por 2 barras de 12,5 mm;
 - ✓ armadura longitudinal de tração (inferior) constituída por 3 barras de 16 mm;
- nos apoios:
 - ✓ armadura longitudinal de tração (superior) constituída por 7 barras de 12,5 mm;
 - ✓ armadura longitudinal de compressão (inferior) constituída por 2 barras de 16 mm;
- armadura transversal (estribos) constituída por barras de 5 mm;
- dimensão máxima do agregado igual a 19 mm; e
- cobrimento nominal das armaduras igual a 3 cm.

Dados:

- concreto: C30; e
- aço: CA-50.

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor); e
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$).



Ex. 5.30: Um reservatório é suportado pelas vigas V1 e V2 de seção transversal 20 cm x 60 cm, tal como indicado na figura abaixo. O reservatório exerce sobre as vigas igual carregamento, uniformemente distribuído, no trecho central das vigas (4 m). Cada metro cúbico de material armazenado no reservatório pesa 10 kN. Mantidas as condições de ductilidade, determinar qual a máxima altura h permitida para o armazenamento do material. As vigas terão:

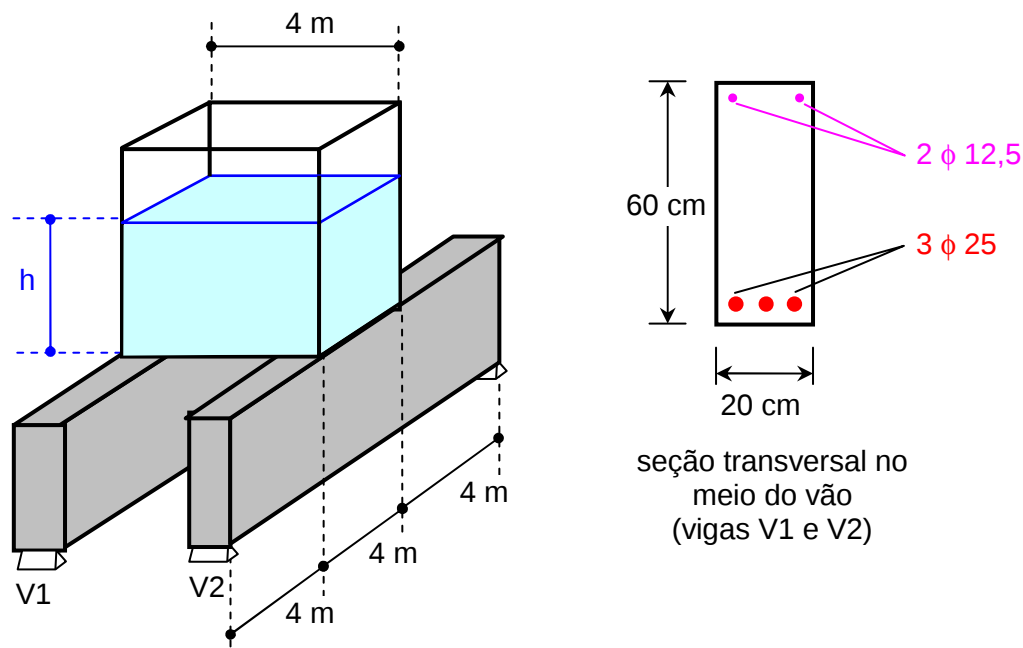
- armadura longitudinal de compressão (superior) constituída por 2 barras de 12,5 mm;
- armadura longitudinal de tração (inferior) constituída por 3 barras de 25 mm;
- armadura transversal (estribos) constituída por barras de 8 mm;
- dimensão máxima do agregado igual a 19 mm; e
- cobrimento nominal das armaduras igual a 3 cm.

Dados:

- concreto:
 - ✓ classe: C20; e
 - ✓ peso específico: 25 kN/m³.
- aço: CA-50.

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor);
- nulo o peso próprio do reservatório; e
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$).



Ex. 5.31: A viga abaixo indicada teve sua armadura positiva dimensionada e detalhada com cinco barras de 12,5 mm (2 longas + 3 curtas). Dessas cinco barras, duas foram prolongadas até a extremidade do balanço constituindo-se, portanto, na armadura de compressão para a seção do apoio A (apoio do balanço). Nessas condições, e mantendo-se as condições de ductilidade, pede-se determinar

- a armadura de tração para a seção do apoio do balanço (apoio A), considerando a armadura de compressão já existente (2 barras de 12,5 mm); e
- o valor da carga Q_{2k} (valor característico) que determinou as 5 barras de 12,5 mm existente na seção C.

Dados:

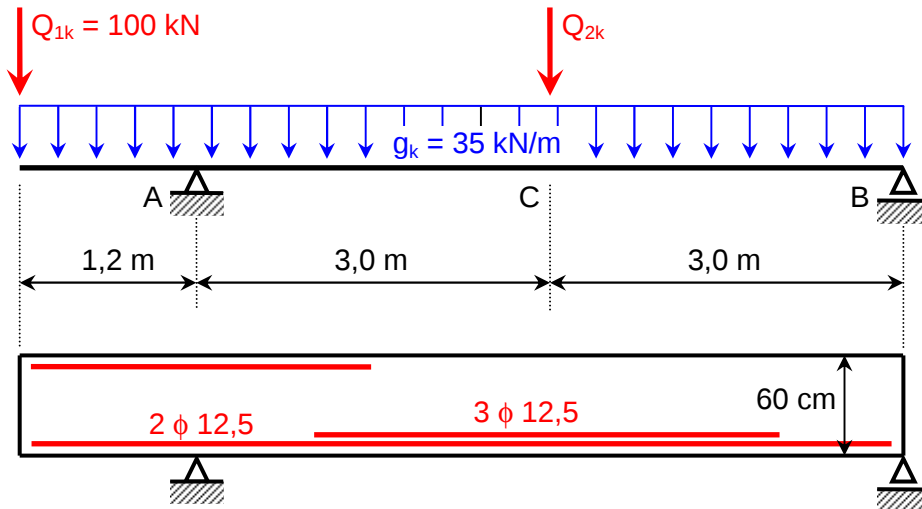
- concreto: C35; e
- aço: CA-50.

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor);
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$);
- $b_w = 20$ cm;
- $d = 55$ cm; e
- $d'/d = 0,075$.

Obs.:

- considerar as cargas acidentais Q_{1k} e Q_{2k} como independentes (podem atuar simultaneamente, ou não).



Ex. 5.32 A viga abaixo representada, construída com concreto classe C25 e aço CA-50, tem seção retangular com 20 cm de base e 55 cm de altura. Considerando, no estado limite último, que:

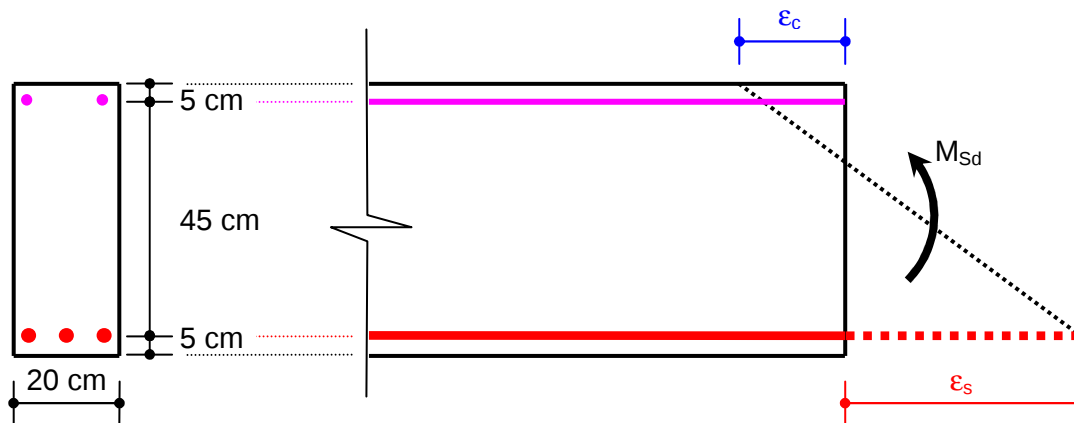
- a distância entre a força resistente de cálculo atuante na região de concreto comprimido e a força resistente de cálculo atuante na armadura tracionada, corresponde a 40 cm; e
- a armadura comprimida é constituída por 2 barras de 10 mm,

pede-se:

- o domínio de deformação, o encurtamento da fibra de concreto mais comprimido e o alongamento da armadura mais tracionada, correspondente a este ELU;
- a intensidade do momento fletor resistente de cálculo, correspondente a este ELU;
- a área seção transversal da armadura longitudinal tracionada, correspondente a este ELU; e
- o tipo de ruína possível (frágil ou dúctil), correspondente a este ELU (justificar a resposta).

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor); e
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$).



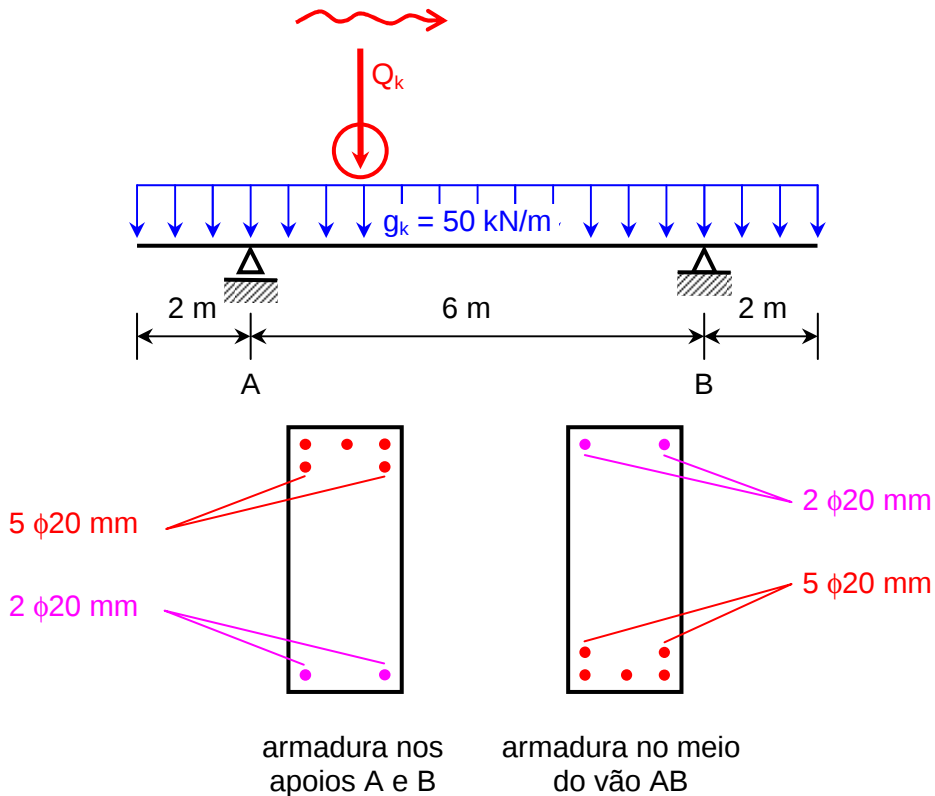
Ex. 5.33: Determinar, para a viga abaixo representada, o máximo valor que a carga acidental Q_k (móvel) pode assumir, mantidas as condições de ductilidade. A viga terá 25 cm de largura e 70 cm de altura.

Dados:

- concreto: C30; e
- aço: CA-50.

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor);
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$);
- $d = 63$ cm; e
- $d' = 5$ cm.



Ex. 5.34: Mantendo as condições de ductilidade, determinar as armaduras longitudinais necessárias nas seções B (meio do vão) e C (apoio da direita) da viga de seção retangular abaixo representada. O carregamento Q_k corresponde a uma carga concentrada móvel equivalente a 135 kN (valor característico). Apresentar, ao final dos cálculos, uma vista longitudinal da viga mostrando a posição das armaduras calculadas.

Dados:

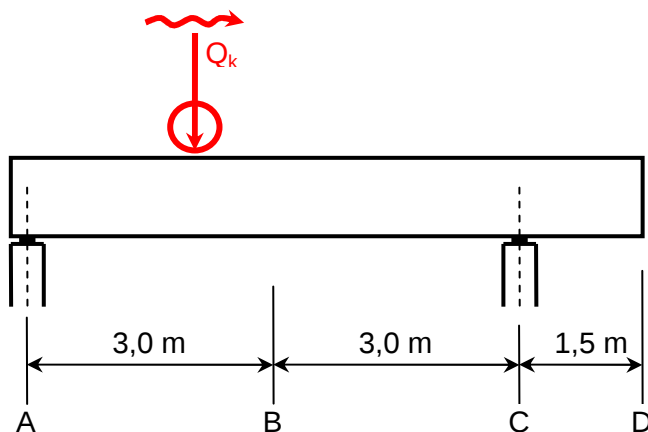
- concreto: C30; e
- aço: CA-50.

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor);
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$);
- $b_w = 15$ cm;
- $h = 50$ cm;
- $d = 45$ cm; e
- $d'/d = 0,10$.

Obs.:

- considerar desprezível o peso próprio da viga.



Ex. 5.35: Determinar, para a viga abaixo representada:

- a menor altura h (número múltiplo de 5 cm), necessária para que a viga esteja na condição limite de ductilidade nas seções B e C, sem armadura de compressão; e
- as armaduras longitudinais necessárias na seção do meio do vão AD, mantida a altura da viga determinada no item anterior.

Dados:

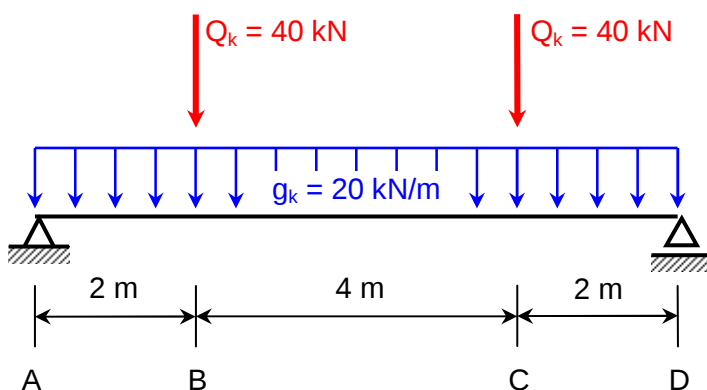
- concreto: C30; e
- aço: CA-50.

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor);
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$);
- $b_w = 20$ cm;
- $d = h - 6$ cm; e
- $d'/d = 0,10$.

Obs.:

- peso próprio da viga incluído na carga g_k .



Ex. 5.36: Para a viga abaixo esquematizada determinar o máximo vão ℓ que esta pode possuir, mantida as condições de ductilidade. A viga terá:

- no meio do vão:
 - ✓ armadura longitudinal de compressão (superior) constituída por 2 barras de 10 mm;
 - ✓ armadura longitudinal de tração (inferior) constituída por 3 barras de 16 mm;
- nos apoios:
 - ✓ armadura longitudinal de tração (superior) constituída por 3 barras de 16 mm;
 - ✓ armadura longitudinal de compressão (inferior) constituída por 2 barras de 10 mm.

Dados:

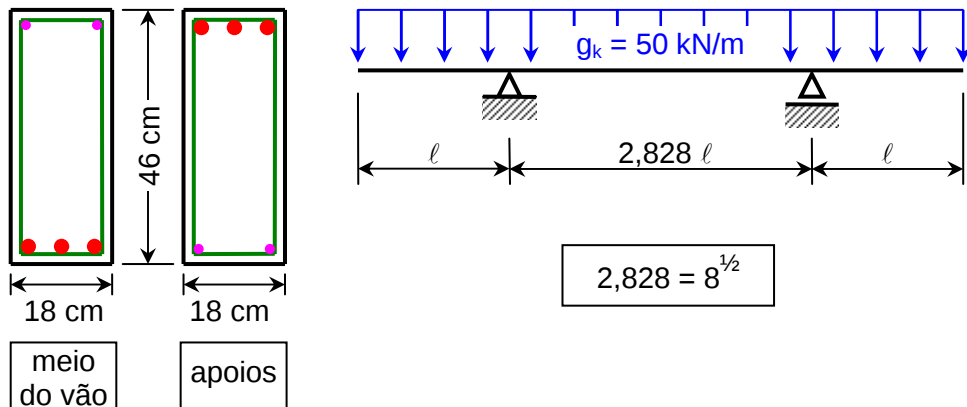
- concreto: C35; e
- aço: CA-50.

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor);
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$);
- $d = 40$ cm; e
- $d' = 5$ cm.

Obs.:

- peso próprio da viga incluído na carga g_k .



Ex. 5.37: Mantidas as condições de ductilidade, determinar, para a viga abaixo representada, o máximo momento fletor solicitante de cálculo que a seção pode resistir. A viga terá:

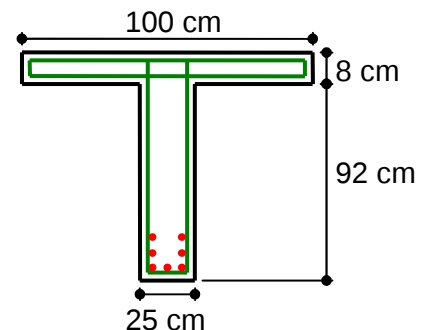
- armadura longitudinal inferior constituída por 7 barras de 20 mm;
- armadura transversal (estribos) constituída por barras de 6,3 mm;
- dimensão máxima do agregado igual a 19 mm; e
- cobrimento nominal das armaduras igual a 3 cm.

Dados:

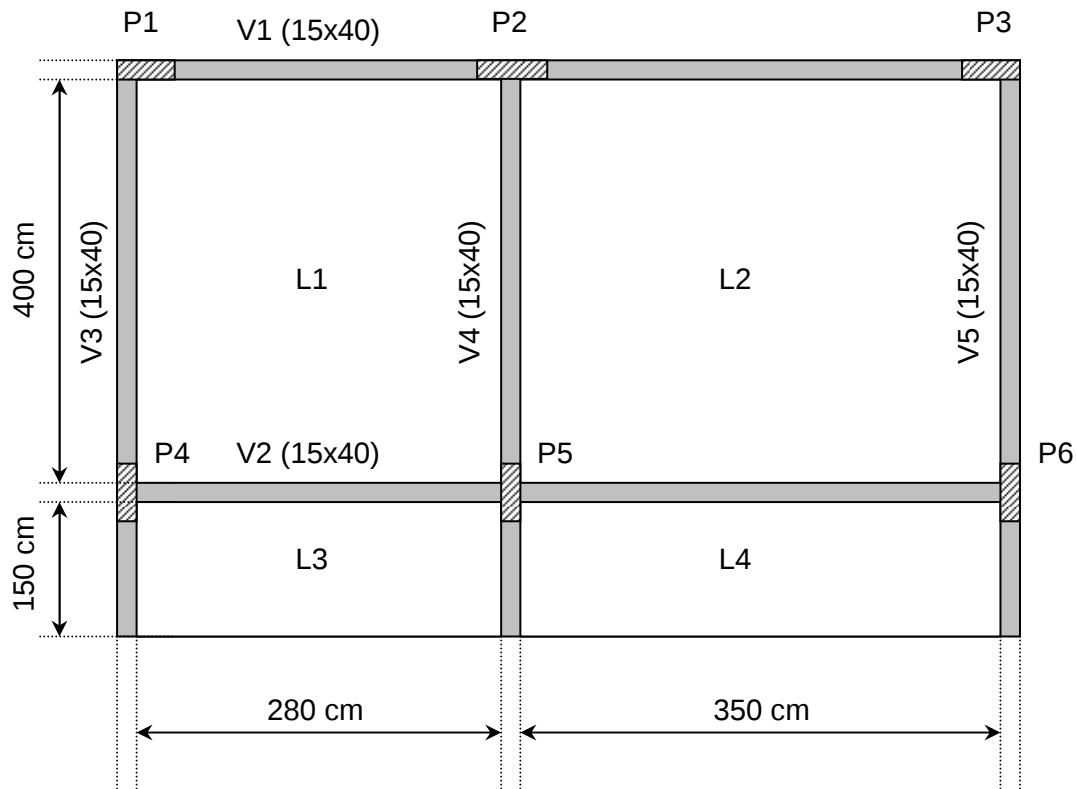
- concreto: C40; e
- aço: CA-50.

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor); e
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$).



Ex. 5.38: Determinar a largura da mesa colaborante (seção T) para a viga V4 indicada na figura. As lajes têm 10 cm de espessura e as vigas têm dimensões 15 cm x 40 cm.



PLANTA DE FORMAS

Ex. 5.39: Mantidas as condições de utilidade, determinar a máxima carga acidental q_k que a viga abaixo representada pode suportar. A viga terá:

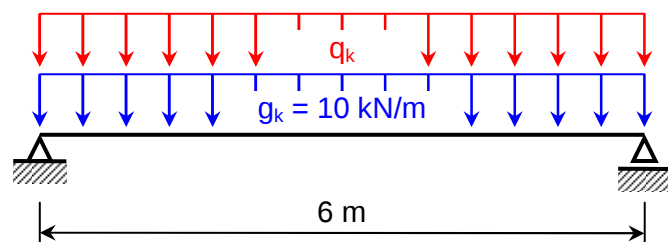
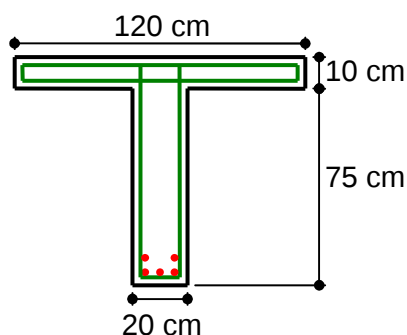
- armadura longitudinal inferior constituída por 5 barras de 16 mm;
- armadura transversal (estribos) constituída por barras de 8 mm;
- dimensão máxima do agregado igual a 19 mm; e
- cobrimento nominal das armaduras igual a 3 cm.

Dados:

- concreto: C30; e
- aço: CA-50.

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor); e
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$).



Ex. 5.40: Determinar os maiores comprimentos possíveis dos vãos ℓ_1 (AB = CD) e ℓ_2 (BC) da viga da figura abaixo considerando que o dimensionamento das seções transversais será feito no domínio 2 e sem armadura de compressão. Para estes valores definidos de ℓ_1 e ℓ_2 , calcular as armaduras longitudinais nas seções críticas do balanço AB (máximo momento fletor negativo) e do vão BC (máximo momento fletor positivo). Mostrar, esquematicamente, o posicionamento das armaduras (positiva e negativa) em uma vista longitudinal da viga.

Dados:

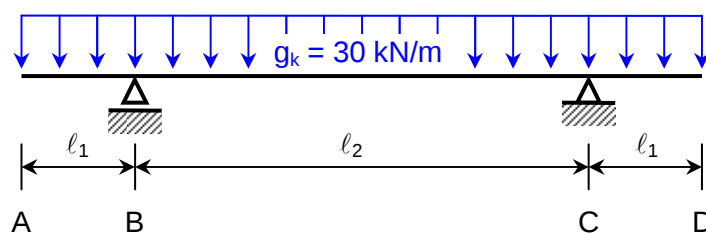
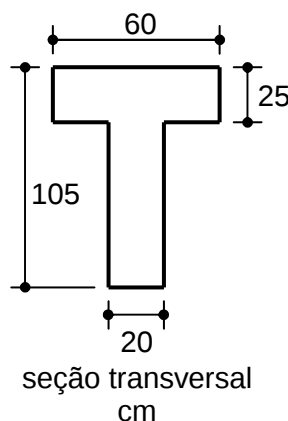
- concreto: C40; e
- aço: CA-50.

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor); e
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$).

Obs.:

- determinar o vão ℓ_2 somente após a definição do vão ℓ_1 , ou seja, definir $\ell_{2,max}$ como função de $\ell_{1,max}$;
- ajustar os valores de ℓ_1 e ℓ_2 para múltiplos de 5 cm (arredondar para baixo);
- considerar o peso próprio da viga incluído na carga g_k ;
- considerar, para a altura útil da viga, a expressão $d = h - 7$ cm válida para momentos positivos e negativos; e
- considerar $b_f = 60$ cm, admitindo como verificados os valores b_1 , b_2 , b_3 e b_4 .



Ex. 5.41: Determinar as armaduras positiva e negativa da viga abaixo indicada. Apresentar, ao final dos cálculos, uma vista longitudinal da viga mostrando as posições das armaduras determinadas com os respectivos valores de A_s (cm²).

Dados:

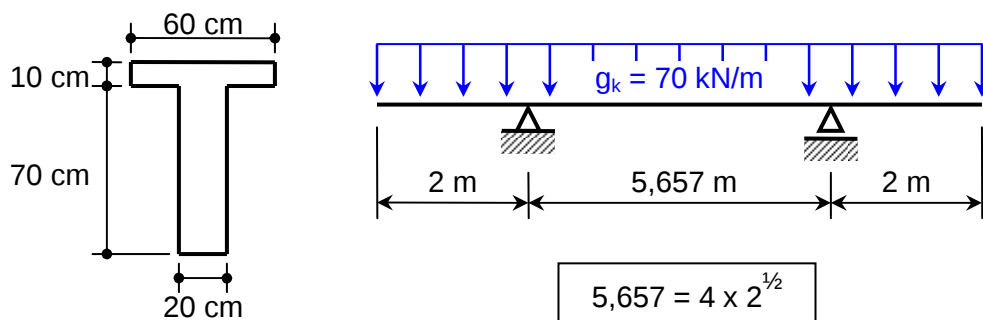
- concreto: C25; e
- aço: CA-50.

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor);
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$); e
- $d = h - 7$ cm.

Obs.:

- peso próprio da viga incluído na carga g_k ;
- viga isolada a ser considerada como seção T, onde possível; e
- obrigatória a verificação do valor de b_f .



Ex. 5.42: A viga da figura abaixo representada terá sua armadura de flexão positiva (inferior) detalhada com barras de 16 mm. Três destas barras ($3 \phi 16$) serão prolongadas até a extremidade do balanço, constituindo-se, então, em armadura de compressão para os momentos fletores negativos atuantes neste balanço. Nestas condições, e mantidas as condições de ductilidade, determinar:

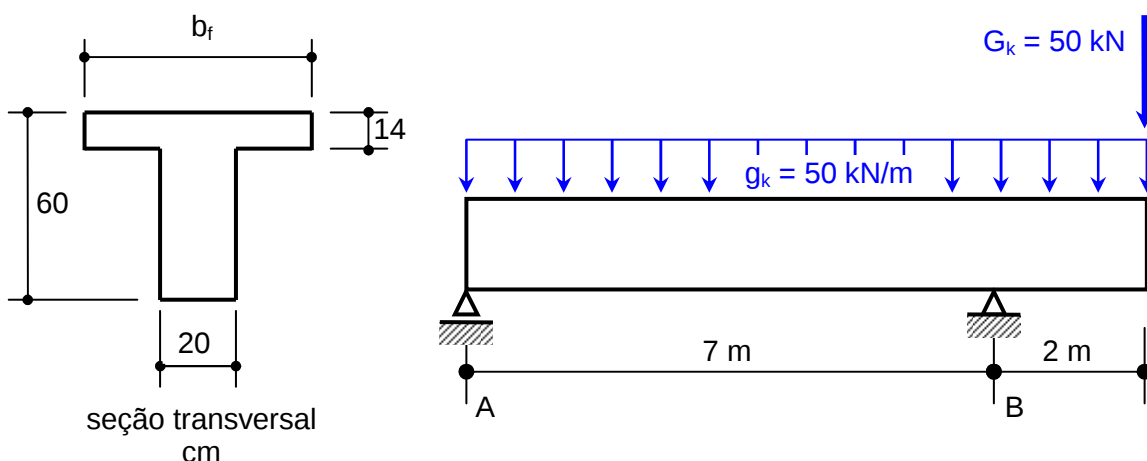
- a armadura de flexão necessária para o apoio B, considerando, obrigatoriamente, os $3 \phi 16$ (inferiores) existentes neste apoio; e
- o valor mínimo de b_f necessário para que a seção transversal correspondente ao meio do vão AB não necessite de armadura de compressão, considerando, ainda, que a armadura de tração nesta seção resulte igual a armadura de tração calculada para o momento negativo do apoio B (item a).

Dados:

- concreto: C35; e
- aço: CA-50.

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor);
- altura útil equivalente a 90% da altura total;
- posições relativas das armaduras superiores iguais as das armaduras inferiores;
- nulo o peso próprio do reservatório; e
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$).



Ex. 5.43: Mantidas as condições de ductilidade, determinar as armaduras necessárias para o momento fletor positivo e para o momento fletor negativo da viga V2 abaixo representada. Apresentar, ao final dos cálculos, um corte longitudinal da viga mostrando as posições das armaduras calculadas. A viga terá:

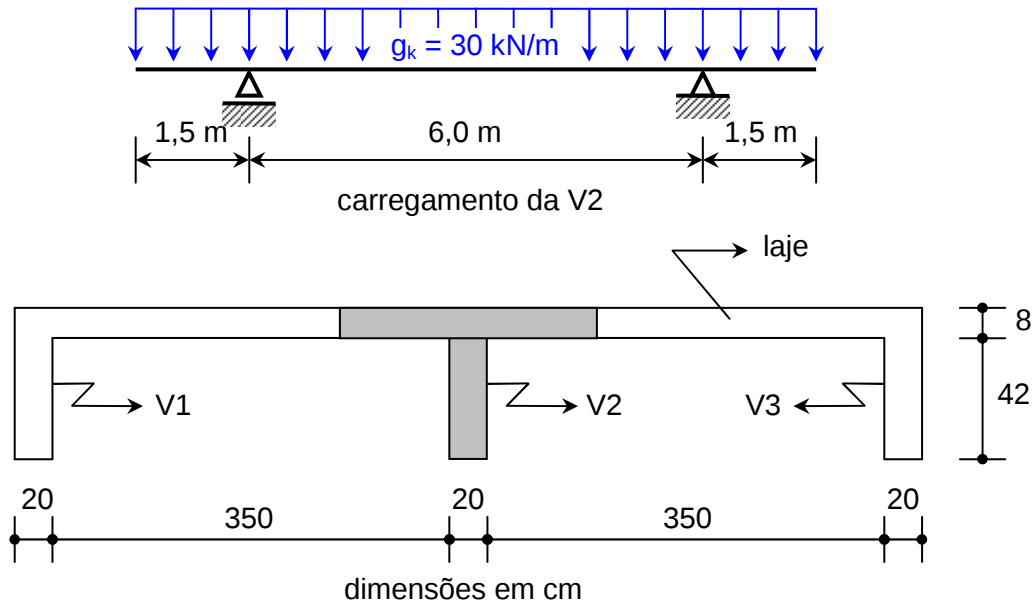
- armadura longitudinal constituída por barras de 16 mm;
- armadura transversal (estribos) constituída por barras de 6,3 mm;
- dimensão máxima do agregado igual a 19 mm; e
- cobrimento nominal das armaduras igual a 3 cm.

Dados:

- concreto: C30; e
- aço: CA-50.

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor);
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$); e
- peso próprio da viga incluído na carga g_k .



Ex. 5.44: Determinar as armaduras positiva e negativa da viga isolada abaixo indicada, de tal forma que sejam mantidas as condições de ductilidade. A viga terá:

- armadura longitudinal constituída por barras de 12,5 mm;
- armadura transversal (estribos) constituída por barras de 5 mm;
- dimensão máxima do agregado igual a 19 mm; e
- cobrimento nominal das armaduras igual a 3 cm.

Dados:

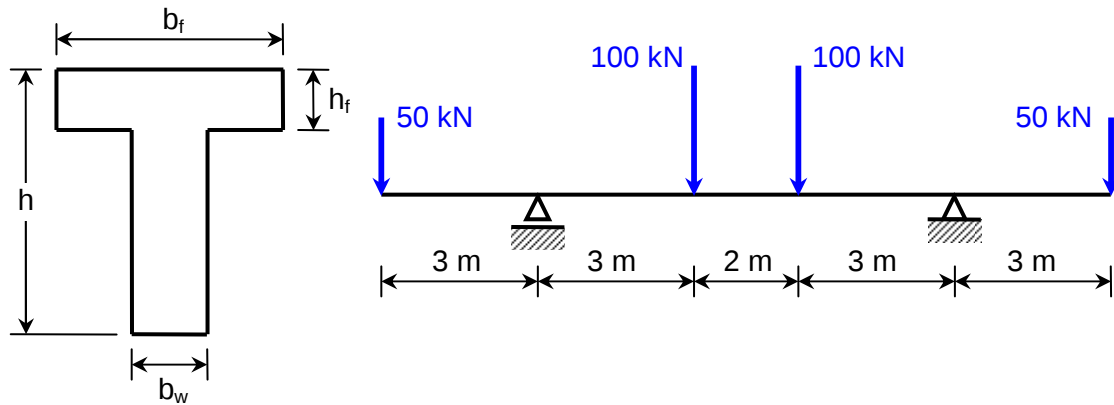
- concreto: C25; e
- aço: CA-50.
- seção transversal:
 - $b_f = 40$ cm;
 - $b_w = 15$ cm;
 - $h = 65$ cm; e
 - $h_f = 8$ cm.

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor);
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$);
- carregamento constituído por cargas permanentes (valores característicos); e
- peso próprio da viga desprezível.

Obs.:

- verificar o valor de b_f (viga isolada); e
- apresentar, ao final dos cálculos, uma vista longitudinal da viga mostrando, esquematicamente, o posicionamento das armaduras positivas e negativas (indicar os valores, em cm^2 , das armaduras calculadas).



Ex. 5.45: Determinar a menor altura possível para a viga V2 abaixo indicada. Não deverá ser usada armadura de compressão e deverão ser mantidas as condições de ductilidade. A viga terá:

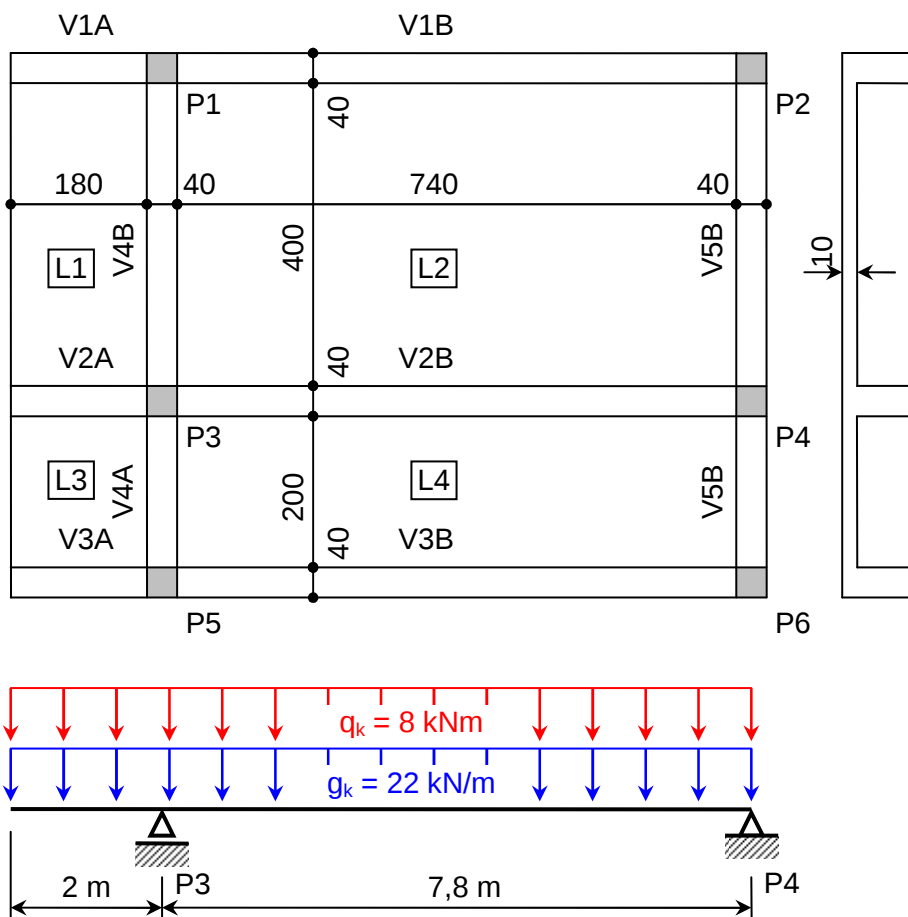
- armadura longitudinal inferior constituída por barras de 16 mm;
- armadura transversal (estribos) constituída por barras de 6,3 mm;
- dimensão máxima do agregado igual a 19 mm; e
- cobrimento nominal das armaduras igual a 3 cm.

Dados:

- concreto: C35; e
- aço: CA-50.

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor);
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$); e
- peso próprio da viga V2 incluído na carga g_k .



Ex. 5.46: Mantidas as condições de ductilidade, determinar as armaduras positiva e negativa da viga V1 abaixo indicada. A viga terá:

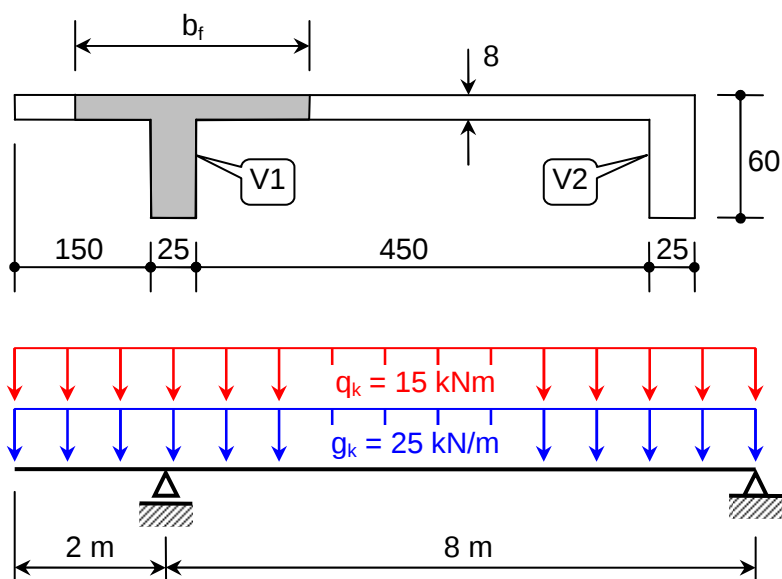
- armadura longitudinal constituída por barras de 16 mm;
- armadura transversal (estribos) constituída por barras de 6,3 mm;
- dimensão máxima do agregado igual a 19 mm; e
- cobrimento nominal das armaduras igual a 3 cm.

Dados:

- concreto: C30; e
- aço: CA-50.

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor);
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$); e
- peso próprio da viga incluído na carga g_k .



Ex. 5.47: O projeto de uma peça pré-moldada deve considerar, além das condições de trabalho, aquelas decorrentes do processo de montagem. Num desses casos, adotou-se uma viga de seção T como mostrado abaixo. Mantidas as condições de ductilidade e sabendo-se que a viga deverá suportar uma carga acidental uniformemente distribuída (em todo vão) de 10 kN/m (valor característico), pede-se determinar:

- a armadura longitudinal necessária para a condição de montagem; e
- a armadura longitudinal necessária para a condição de trabalho.

Apresentar, ao final dos cálculos, uma vista longitudinal mostrando as posições das armaduras estabelecidas nos itens a e b.

Dados:

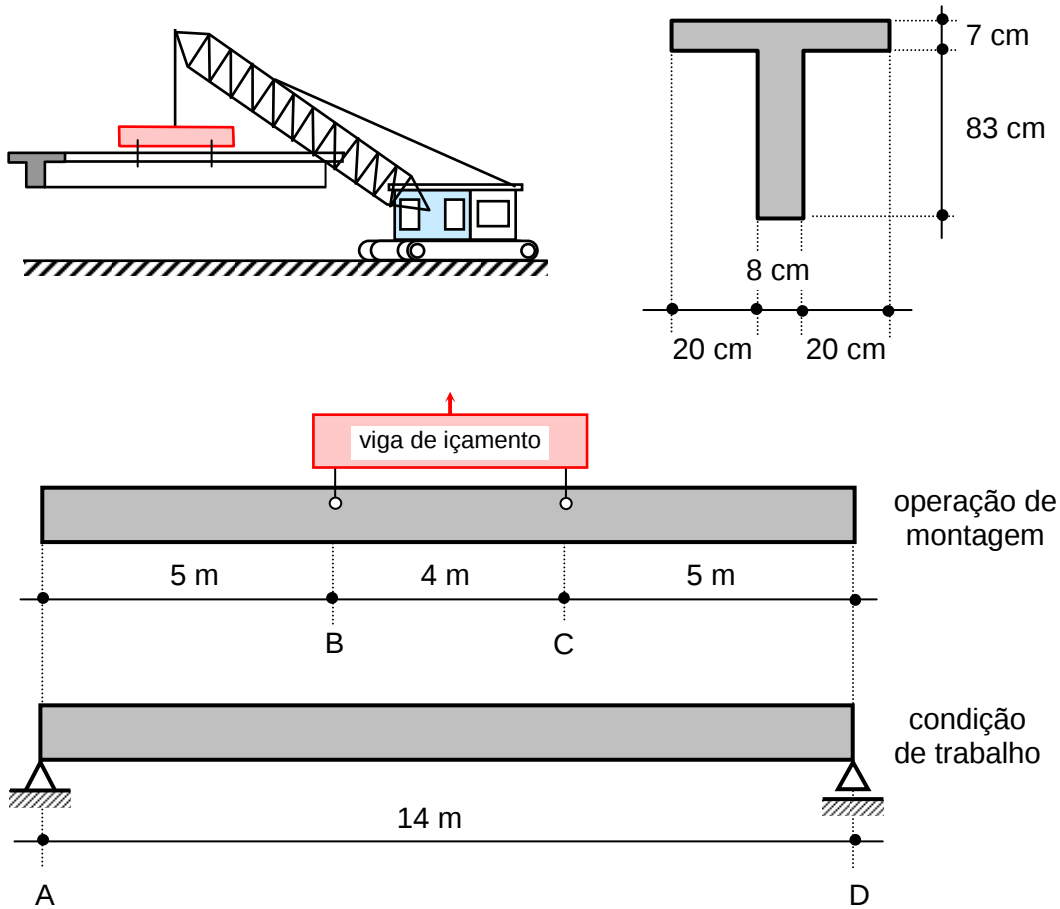
- concreto: C35; e
- aço: CA-50.

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor);
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$);
- peso específico do concreto igual a 25 kN/m³; e
- $d = h - 7$ cm (momentos positivos e negativos).

Obs.:

- verificar o valor de b_f (viga isolada);
- não considerar armadura longitudinal de compressão; e
- na montagem, considerar somente ao próprio da viga.



Ex. 5.48: Mantidas as condições de utilidade, determinar, para a viga isolada de seção transversal constante, abaixo representada, o máximo valor que a carga acidental Q_k (móvel) pode assumir.

Dados:

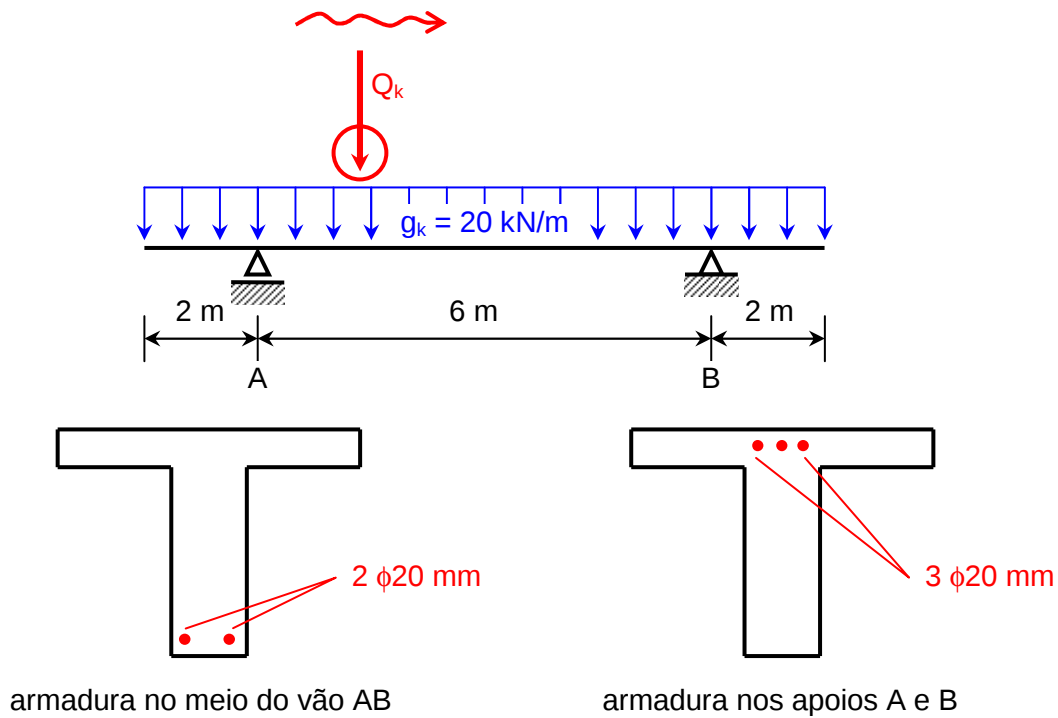
- concreto: C30;
- aço: CA-50;
- seção transversal:
 - ✓ $b_f = 120$ cm;
 - ✓ $b_w = 20$ cm;
 - ✓ $h = 70$ cm; e
 - ✓ $h_f = 8$ cm.

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor);
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$); e
- $d = h - 6$ cm (momentos positivo e negativo).

Obs.:

- verificar o valor de b_f (viga isolada); e
- peso próprio da viga incluído na carga g_k .



Ex. 5.49: Considere que a peça, cuja seção transversal é mostrada abaixo, está solicitada apenas por um momento fletor de cálculo M_{Sd} . Na condição limite de segurança - estado limite último ($M_{Rd} = M_{Sd}$), a linha neutra ficou situada 31,2 cm abaixo da fibra mais comprimida. Nestas condições, e mantidas as condições de ductilidade, pede-se:

- o valor do momento fletor solicitante de cálculo M_{Sd} (kNm); e
- o valor da armadura de tração A_s (cm²) necessária para resistir ao momento fletor M_{Sd} .

Dados:

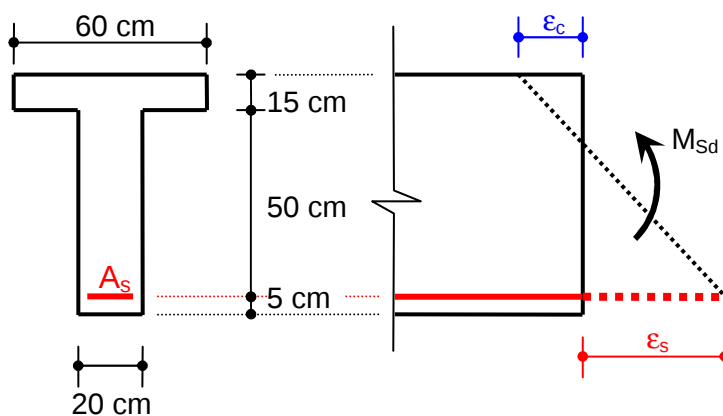
- concreto: C25; e
- aço: CA-50.

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor); e
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$).

Obs.:

- considerar o valor de b_f verificado.



Ex. 5.50 Mantidas as condições de ductilidade, determinar para a viga V1, de seção transversal constante (seção T), abaixo representada, o máximo valor que a carga acidental Q_k (móvel) pode assumir.

Dados:

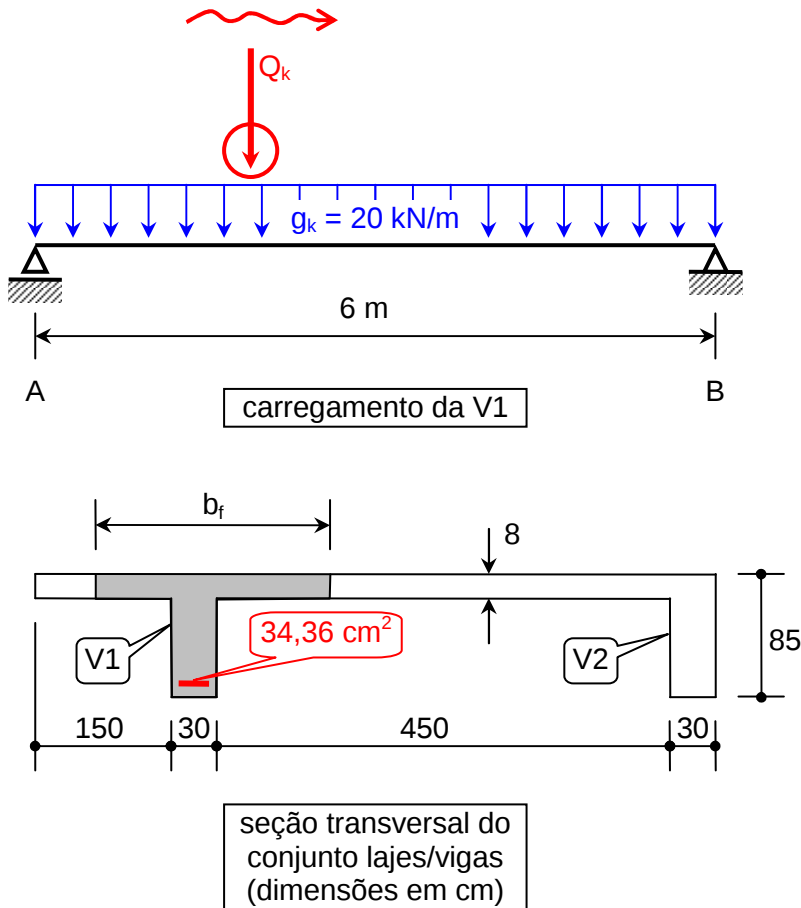
- concreto: C25;
- aço: CA-50; e
- armadura longitudinal inferior: $7 \phi 25 \text{ mm}$ ($34,36 \text{ cm}^2$).

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor);
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$); e
- $d = h - 6 \text{ cm}$ (momentos positivo e negativo).

Obs.:

- peso próprio da viga incluído na carga g_k .



Ex. 5.51 Mantidas as condições de utilidade, determinar, para a viga V2 abaixo representada:

- o máximo valor possível para b_f ;
- o máximo valor possível para o carregamento q_k , admitindo-se que a altura da linha neutra, na seção transversal (seção T) de máxima solicitação, seja igual $1,25 h_f$; e
- a armadura longitudinal necessária para as condições estabelecidas no item b.

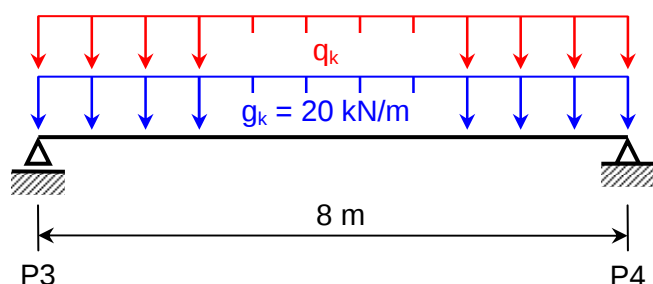
Dados:

- concreto: C35; e
- aço: CA-50.

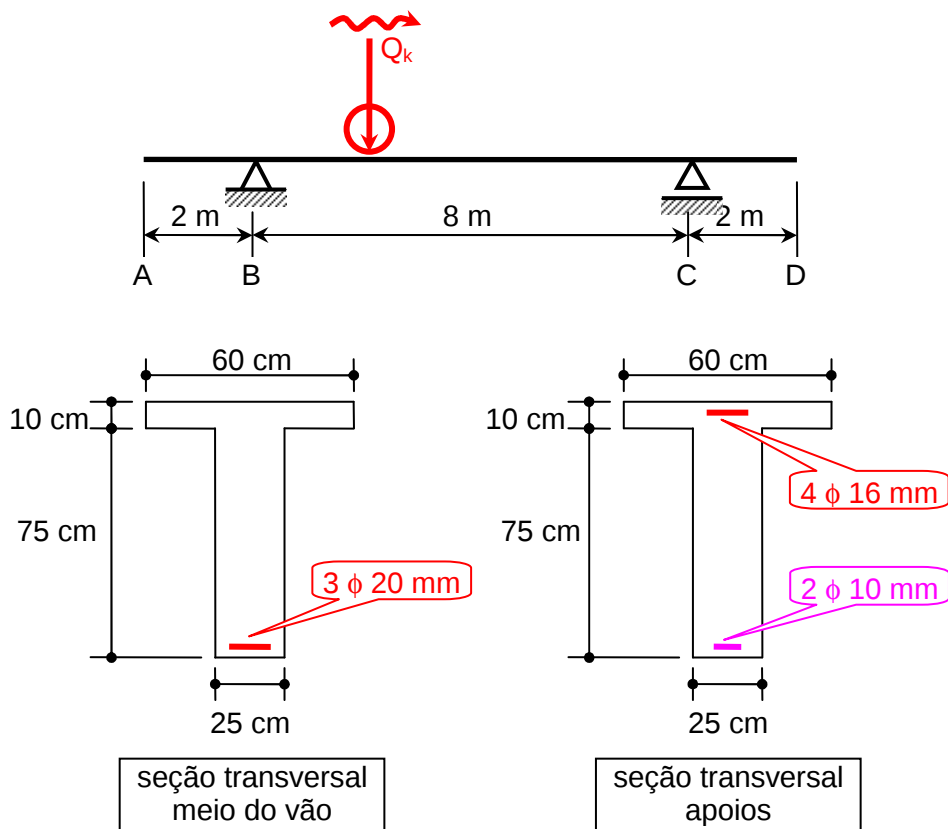
Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor);
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$);
- $d = h - 6 \text{ cm}$.

- peso próprio da viga incluído na carga g_k .



- admitir, na determinação de b_f , $b_3 = b_4$.



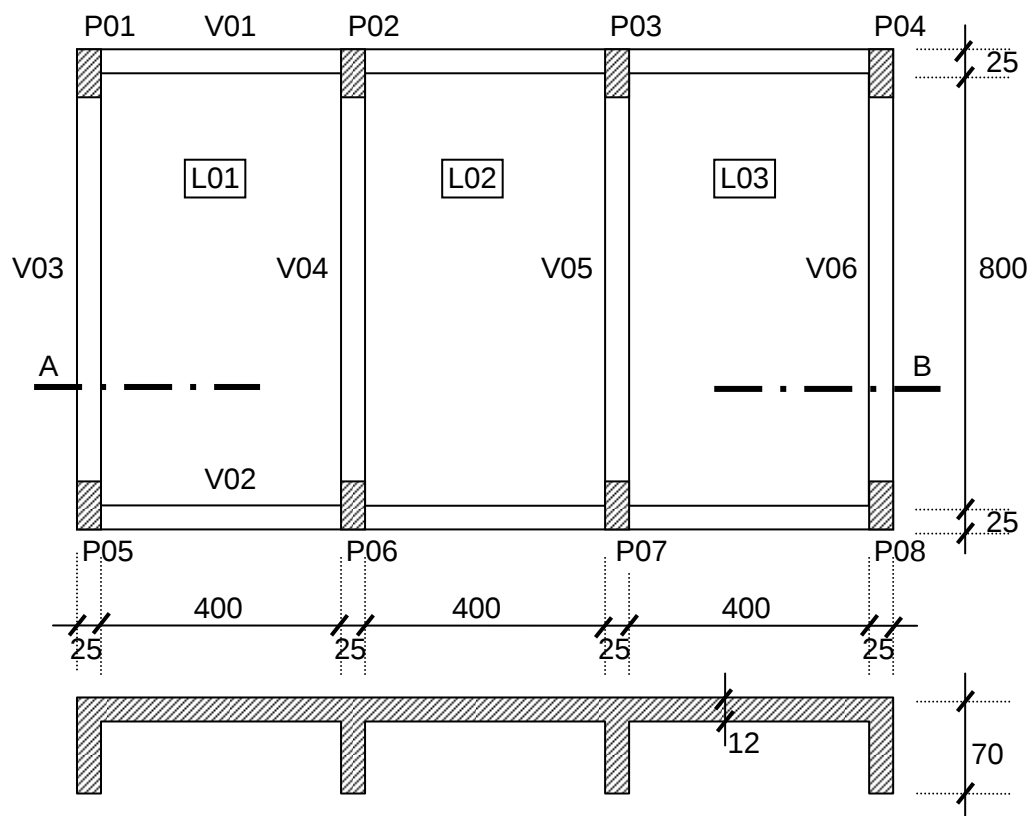
Ex. 5.53: A figura abaixo representa a planta de formas de uma escola. Cada laje corresponde a uma sala de aula. Todas as vigas têm seção transversal de 25 cm x 70 cm, todos os pilares têm seção de 25 cm x 50 cm e todas as lajes têm espessura igual a 12 cm. Mantidas as condições de ductilidade, determinar as armaduras longitudinais necessárias para as vigas V04 e V05, levando-se em consideração, se possível, a colaboração do painel de lajes.

Dados:

- concreto: C30; e
- aço: CA-50.

Considerar:

- somente solicitações normais (momento fletor);
- estado limite último, combinações normais ($\gamma_g = 1,4$; $\gamma_q = 1,4$; $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$);
- $d = h - 7$ cm;
- vão de cálculo das vigas igual à distância entre os eixos dos pilares; e
- carregamento uniformemente distribuído nas vigas V04 e V05, constituído de:
 - ✓ peso próprio de cada viga: 5 kN/m;
 - ✓ reação de uma laje em cada viga: 15 kN/m; e
 - ✓ peso de parede sobre cada viga: 15 kN/m.



CORTE A-B
(dimensões em cm)