

ABERTURAS EM ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE CONCRETO

A Norma Brasileira de Concreto – NBR 6118/2003 – dispõe sobre este assunto nos itens 21.3, 13.2.5 e 13.2.6, abordando os aspectos inerentes a furos, aberturas e canalizações em elementos de concreto armado.

Qualquer estrutura que apresenta, em suas exigências de projeto, a necessidade de furos ou aberturas, deverá ser projetada e detalhada para absorverem as alterações do fluxo de tensões que ocorrem no entorno destes locais, prevendo-se armaduras especiais para estes casos, além daquelas necessárias para a estabilidade do elemento em função das solicitações atuantes.

Por uma questão de definição, chamam-se de 'furos' os espaços de pequenas dimensões e, por outro lado, 'aberturas', aqueles espaços de dimensões maiores. Um conjunto de furos muito próximos deverá ser avaliado como uma 'abertura'.

No caso de vigas de concreto armado, devem ser observadas limitações construtivas mínimas para a existência de aberturas paralelas à sua altura (NBR 6118/2003, item 21.3.3):

- Não devem apresentar diâmetro superior a $1/3$ da largura da viga;
- A distância mínima do furo à face da viga deve ser de 5 cm ou duas vezes o cobrimento da armadura especificado;
- No caso de vários furos, estes devem estar espaçados de, no mínimo, 5 cm ou o valor do diâmetro do furo, devendo manter pelo menos um estribo nesta região.

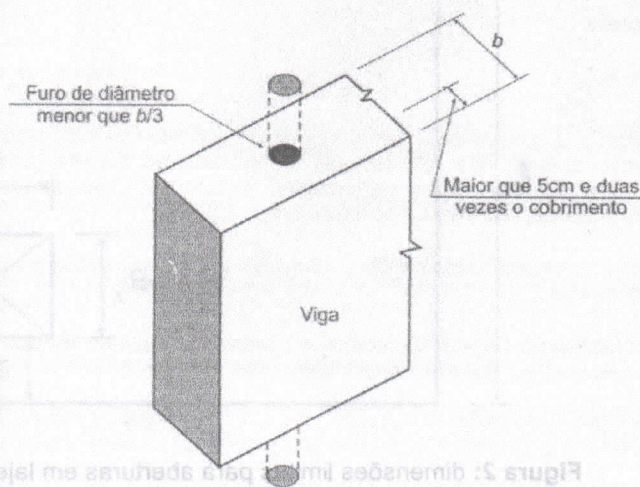


Figura 1: Aberturas em Vigas – disposições mínimas
(fonte: NBR 6118/2003)

Tanto para o caso de vigas como de lajes, a seção remanescente de concreto, descontada a área do furo ou da abertura, deverá ser verificada quanto a sua capacidade de resistência ao cisalhamento e à flexão, a partir das solicitações previstas pelo cálculo.

Nem sempre os elementos estruturais devem ser reavaliados devido à existência de furos ou aberturas, caso sejam observadas as seguintes características (NBR 6122/2003, itens 13.2.5.1 e 2):

1. Vigas

Dispensa de reforço de armadura, caso sejam observadas as seguintes condições:

- o Furos posicionados na zona de tração do elemento e a uma distância mínima do apoio equivalente à duas vezes a altura da viga ($2h$);
- o Dimensões máximas do furo de 12 cm ou $h/3$;
- o Distância entre os furos, em mesmo vão, de no mínimo $2h$.

2. Lajes

Dispensa de reforço de armadura, sendo as lajes armadas em duas direções, e observadas as seguintes condições:

- o As dimensões da abertura devem corresponder a, no máximo, $1/10$ do vão menor da laje – ver Figura 2;
- o A distância mínima entre o bordo da laje e a face da abertura deve ser, no mínimo, de $1/4$ do vão na direção considerada – ver Figura 2;
- o A distância entre as faces de aberturas adjacentes deve ser maior que $1/2$ do menor vão da laje.

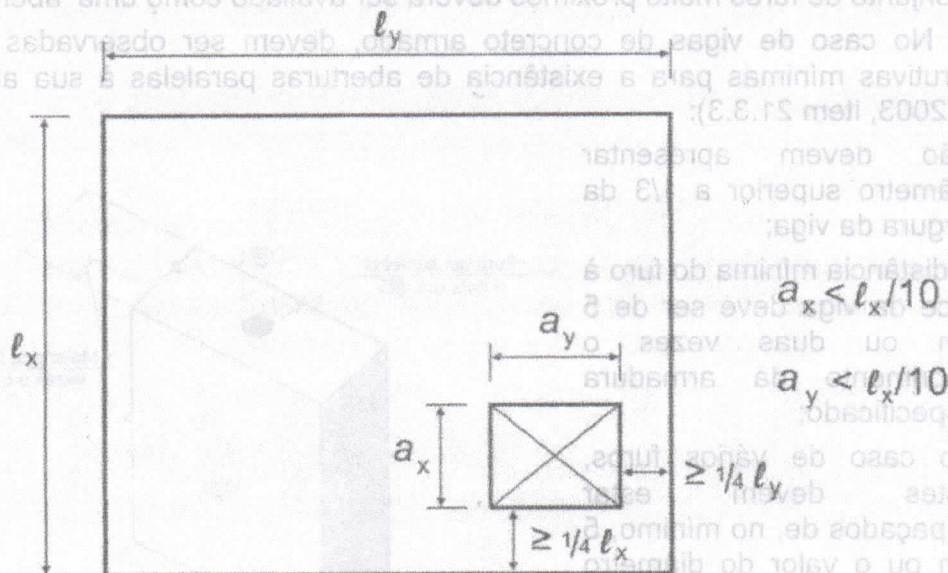


Figura 2: dimensões limites para aberturas em lajes para dispensa de verificação
(fonte: NBR 6118/2003)

Canalizações

Para o caso de canalizações embutidas (NBR 6118/2003, item 13.2.6), posicionadas ao longo do eixo longitudinal do elemento de superfície, para o caso de Lajes, ou no interior de um elemento linear, para o caso de Vigas e Pilares, fica proibida sua ocorrência nos seguintes casos:

- o Canalizações sem isolamento quando destinadas à passagem de fluidos com variação de temperatura superior à 15°C em relação ao ambiente, desde que não isoladas ou verificadas para esta finalidade;
- o Canalizações destinadas a suportar pressões internas superiores a $0,3\text{ MPa}$;

- o Canalizações embutidas em pilares de concreto, tanto imersas no material ou em espaços vazios internos do elemento, sem a existência de aberturas para drenagem.

Aberturas em Vigas

Preferencialmente, quando possível, deve-se projetar aberturas em vigas permitindo a permanência das bielas de compressão devido à existência das forças cortantes, conforme ilustra a Figura 3.

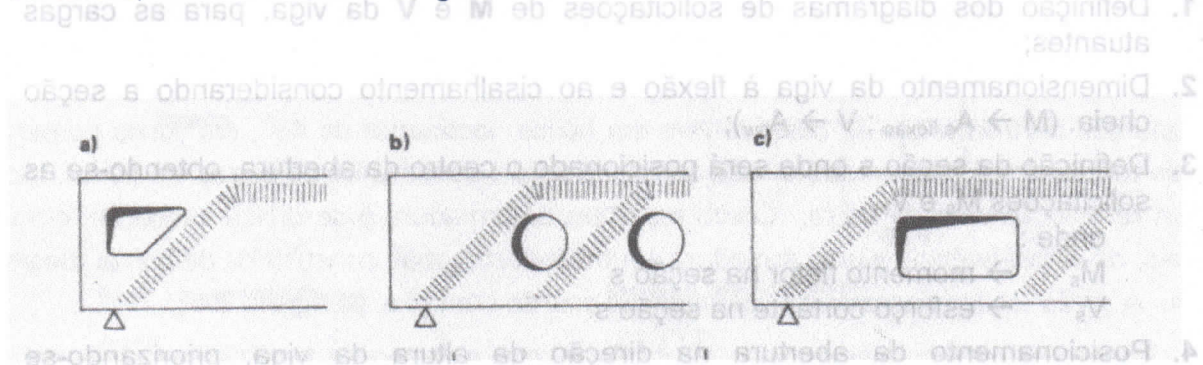


Figura 3: Posição preferencial de pequenas aberturas em vigas

(fonte: NBR 6118/2003)

Sempre que o comprimento da abertura, no sentido do eixo longitudinal da viga for superior a $0,60 h$, recomenda-se que este fato seja considerado no dimensionamento do elemento e avaliada a possibilidade de colocação de armaduras de reforço, como indicado a seguir. Nesta região, no trecho da viga onde está posicionada a abertura, a viga passa a funcionar como o modelo de pórtico, formando um quadro rígido, semelhante a uma viga do tipo *Vierendeel*. Em que pese a viga com abertura poder suportar a mesma carga que de uma viga de alma cheia, desde que corretamente dimensionada sua armadura de reforço, cabe ressaltar que sua rigidez diminui, o que poderá ser um inconveniente para outros fatores, como por exemplo, a verificação das deformações do elemento.

Considerando-se as seguintes convenções (ver Figura 5):

- h → altura da viga
- d → altura útil da viga
- b → largura da viga
- L → vão da viga
- L_1 → comprimento da abertura
- a → altura da abertura
- h_c → altura do banzo comprimido
- h_t → altura do banzo tracionado

recomenda-se a adoção das seguintes etapas para o dimensionamento de vigas com aberturas, de acordo com Leonhardt:

ETAPAS PARA O DIMENSIONAMENTO DE ARMADURAS DE REFORÇO EM ABERTURAS DE VIGAS

1. Definição dos diagramas de solicitações de M e V da viga, para as cargas atuantes;
2. Dimensionamento da viga à flexão e ao cisalhamento considerando a seção cheia. ($M \rightarrow A_s \text{ flexão}$; $V \rightarrow A_{sw}$);
3. Definição da seção s onde será posicionado o centro da abertura, obtendo-se as solicitações M_s e V_s ,
onde :
 $M_s \rightarrow$ momento fletor na seção s
 $V_s \rightarrow$ esforço cortante na seção s
4. Posicionamento da abertura na direção da altura da viga, priorizando-se preferencialmente a ocupação da zona tracionada da alma e os critérios indicados na Figura 1;
5. Determinação das forças normais nos banzos:
 $N_c = N_t = M_s / z$
onde :
 $N_c \rightarrow$ força de compressão, no banzo comprimido
 $N_t \rightarrow$ força de tração, no banzo tracionado
 $z \rightarrow$ distância na vertical entre os eixos dos banzos
6. Determinação das forças cortantes nos banzos, a partir do V_s da seção, considerando-se que um maior % de V_s seja absorvido pelo banzo comprimido, pois o banzo tracionado é admitido fissurado (Estádio II):
 $V_c = 0,80 \text{ a } 0,90 V_s \rightarrow$ cortante no banzo comprimido (adotado:0,80)
 $V_t = 0,20 \text{ a } 0,10 V_s \rightarrow$ cortante no banzo tracionado (adotado:0,20)
7. Determinação dos momentos fletores nos banzos:
 $M_c = V_c \cdot L/2 \rightarrow$ momento fletor no banzo comprimido
 $M_t = V_t \cdot L/2 \rightarrow$ momento fletor no banzo tracionado
8. Dimensionamento dos banzos à flexão composta:
Banzo comprimido: $M_c, N_c, V_c \rightarrow A_{sc} \text{ e } A_{swc}$
Banzo tracionado: $M_t \text{ e } N_t, V_t \rightarrow A_{st} \text{ e } A_{swt}$
sendo
 $A_{sc} \text{ e } A_{st} \rightarrow$ as armaduras longitudinais nos banzos, calculadas de acordo com as orientações da NBR 6118/2003 para flexão-composta, devidamente ancoradas de um comprimento L_b na região de alma cheia da viga, e
 $A_{swc} \text{ e } A_{swt} \rightarrow$ as armaduras transversais nestes mesmos banzos, calculadas de acordo com as orientações da NBR 6118/2003.
9. Determinar armadura de suspensão (A_{sws}) nas extremidades da abertura para um esforço cortante equivalente a $0,80 V_s$, distribuída em uma largura de $h/4$, em ambos os lados;

A Figura 5 ilustra estas etapas a serem seguidas com vistas ao dimensionamento das armaduras de reforço no entorno de aberturas em vigas de concreto.

No caso de aberturas circulares muito próximas, de acordo com Leonhardt, deverá ser garantida uma distância mínima de 5 cm entre os furos, sendo conveniente adicionar armaduras de cisalhamento inclinadas, conforme indicado na Figura 4.

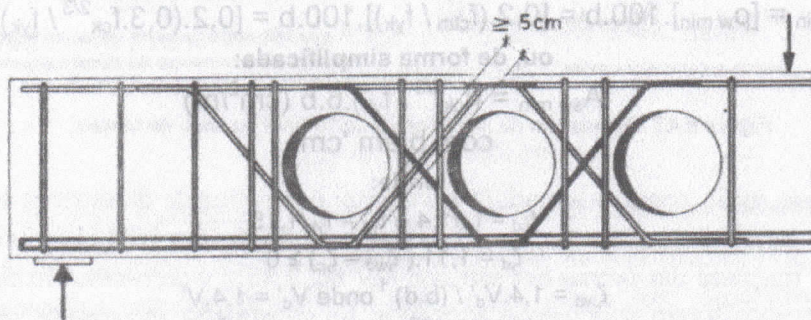


Figura 4: Armaduras inclinadas para vigas com furos circulares
(fonte: LEONHARDT, Volume 3)

Observação 1:

Nestes procedimentos, procurou-se não se caracterizar o banzo superior como comprimido e o banzo inferior como tracionado, o que seria normal em vigas bi-apoiadas, sujeitas assim à tração em sua face inferior. Fato contrário, quando da ocorrência de aberturas próximas aos apoios internos de vigas contínuas, esta situação inverte-se, sendo portando tracionada a face superior da viga nesta região.

Observação 2:

Para o dimensionamento dos banzos à flexão composta sugere-se a utilização dos Diagramas de Iteração, conforme indicado na Figura 6 (Fusco), obtendo-se para cada banzo:

$$v_d = N_d / (A_c \cdot f_{cd}) \text{ e } \mu_d = M_d / (A_c \cdot h \cdot f_{cd}) = v_d \cdot e / h \rightarrow \text{ábaco } \omega \rightarrow A_s = \omega \cdot A_c \cdot f_{cd} / f_{yd}$$

onde:

$$N_d = 1,4 \cdot N$$

$$e = M / N$$

sendo que devemos ter em cada face do banzo uma armadura equivalente à $A_s / 2$.

Observação 3:

Para o dimensionamento das armaduras de cisalhamento dos banzos, deve-se considerar, além das características do tipo de concreto e aço (f_{ck} e f_{yk}), os seguintes procedimentos, de acordo com a Norma NBR 6118/2003, considerando V' o esforço cortante aplicado na seção:

Banzo Comprimido	Banzo Tensionado
Seção: $b, h_c, d_c = h_c - \text{cob}^{10}$ Solicitação: $V' = V_c = 0,80.V$ $A_{swc} \geq A_{sw \min}$	Seção: $b, h_b, d_t = h_t - \text{cob}^{10}$ Solicitação: $V' = V_t = 0,20.V$ $A_{swt} \geq A_{sw \min}$
Cálculo da Armadura A_{sw} $A_{sw} = 100.b.\zeta_d / f_{yd} \geq A_{sw \min}$ $A_{sw \min} = [\rho_{w \min}].100.b = [0,2.(f_{ctm} / f_{yk})].100.b = [0,2.(0,3.f_{ck}^{2/3} / f_{yk})].100.b$ ou, de forma simplificada: $A_{sw \min} = (f_{ck}^{2/3} / f_{yk}).6.b \text{ (cm}^2\text{/m)}$ com b em 'cm' onde: $f_{cd} = f_{ck}/1,4$ e $f_{yd} = f_{yk}/1,15$ $\zeta_d = 1,11.(\zeta_{wd} - \zeta_c) \geq 0$ $\zeta_{wd} = 1,4.V_d' / (b.d)^1$ onde $V_d' = 1,4.V'$ $\zeta_c = 0,09.f_{cd}^{2/3} \rightarrow \text{flexo-tração}^2$ $\zeta_{wu} = 0,27.\alpha_v.f_{cd} = 0,27.(1 - f_{ck}/250).f_{cd}$ adotando espaçamentos 's' limites dado por: $s_{\max} \leq 0,6d \leq 30 \text{ cm quando } \zeta_{wd} \leq 0,67.\zeta_{wu}$ $s_{\max} \leq 0,3d \leq 20 \text{ cm quando } \zeta_{wd} > 0,67.\zeta_{wu}$ ¹ b' e 'd' referem-se às dimensões da seção a ser dimensionada ² adotado também, por simplificação, para a flexo-compressão ($\zeta_{cc} = 0,09.f_{cd}^{2/3} . M_o/M_{sd,max} !!!$)	

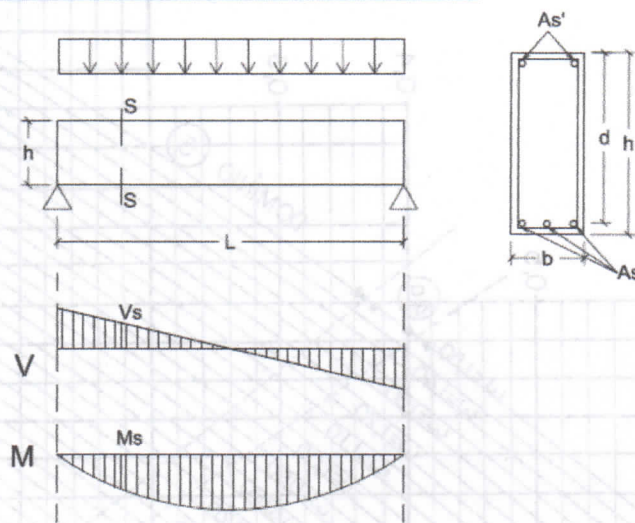
Referências

- EL DEBS, Mounir Khalil. Concreto Pré-Moldado: Fundamentos e Aplicações. Editora EESC-USP – São Carlos, SP. 2000.
- FUSCO, P.B. Estruturas de Concreto – Solicitações Normais, Ed. Guanabara Dois, 1981.
- LEONHARDT, F. e E. Monnig. Construções de Concreto. Rio de Janeiro. Ed. Interciência Ltda, Vol.3, 1979.
- MANUAL Técnico de Pré-Fabricados em Concreto. Ass. Bras. da Construção Industrializada.
- MONTOYA, P. Jiménez et alli. Hormigón Armado. Barcelona. Ed. Gustavo Gili S.A., 2001, 14ª ed.
- SÜSSEKIND, José Carlos. Curso de Concreto Armado. Rio de Janeiro, Ed. Globo S.A., 1979, 4ª ed; 1984, v. II, 2ª ed.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT

NBR 6118. Projeto e Execução de Obras em Concreto Armado.

VIGA BI-APOIADA: diagramas de solicitações

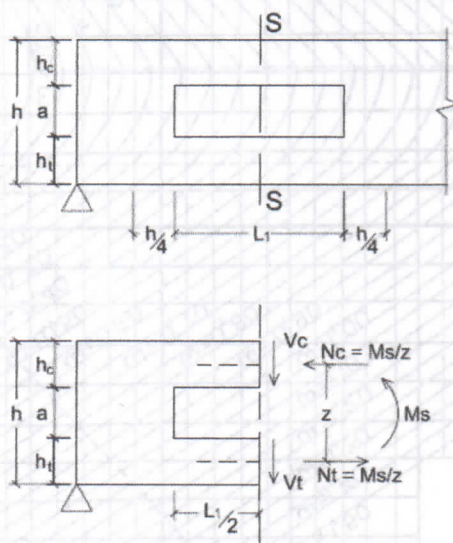


$$M = \frac{qL^2}{8}$$

$$V = \frac{qL}{2}$$

$$M = \frac{qL^2}{8}$$

ABERTURA: posição e solicitações na seção 's'



ARMADURAS FINAIS: reforço

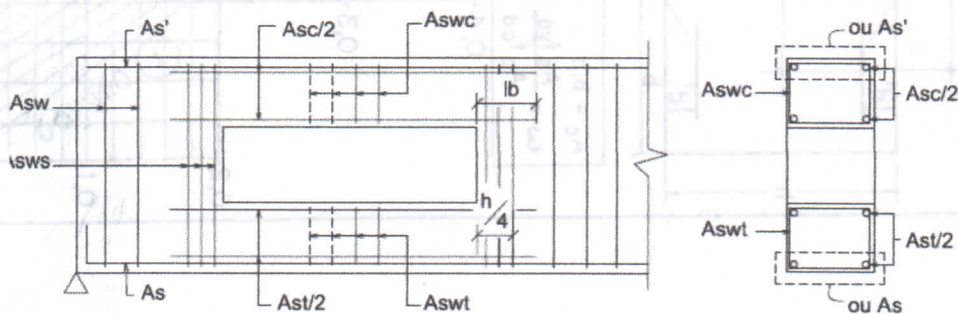


Figura 5: Viga bi-apoiada com abertura de dimensões $L_1 \times a$

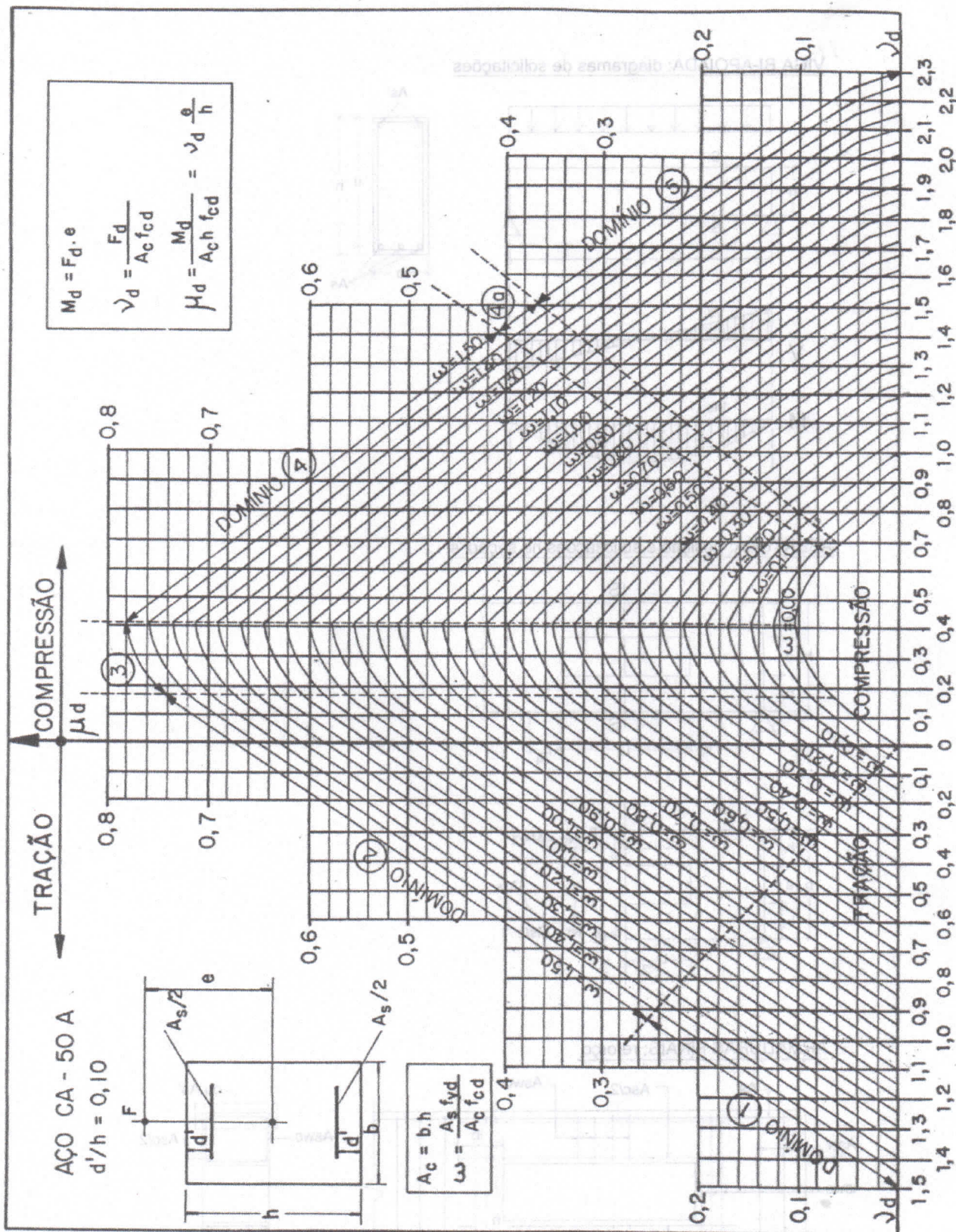


Figura 6: Diagramas de Iteração (FUSCO) - Flexão Composta