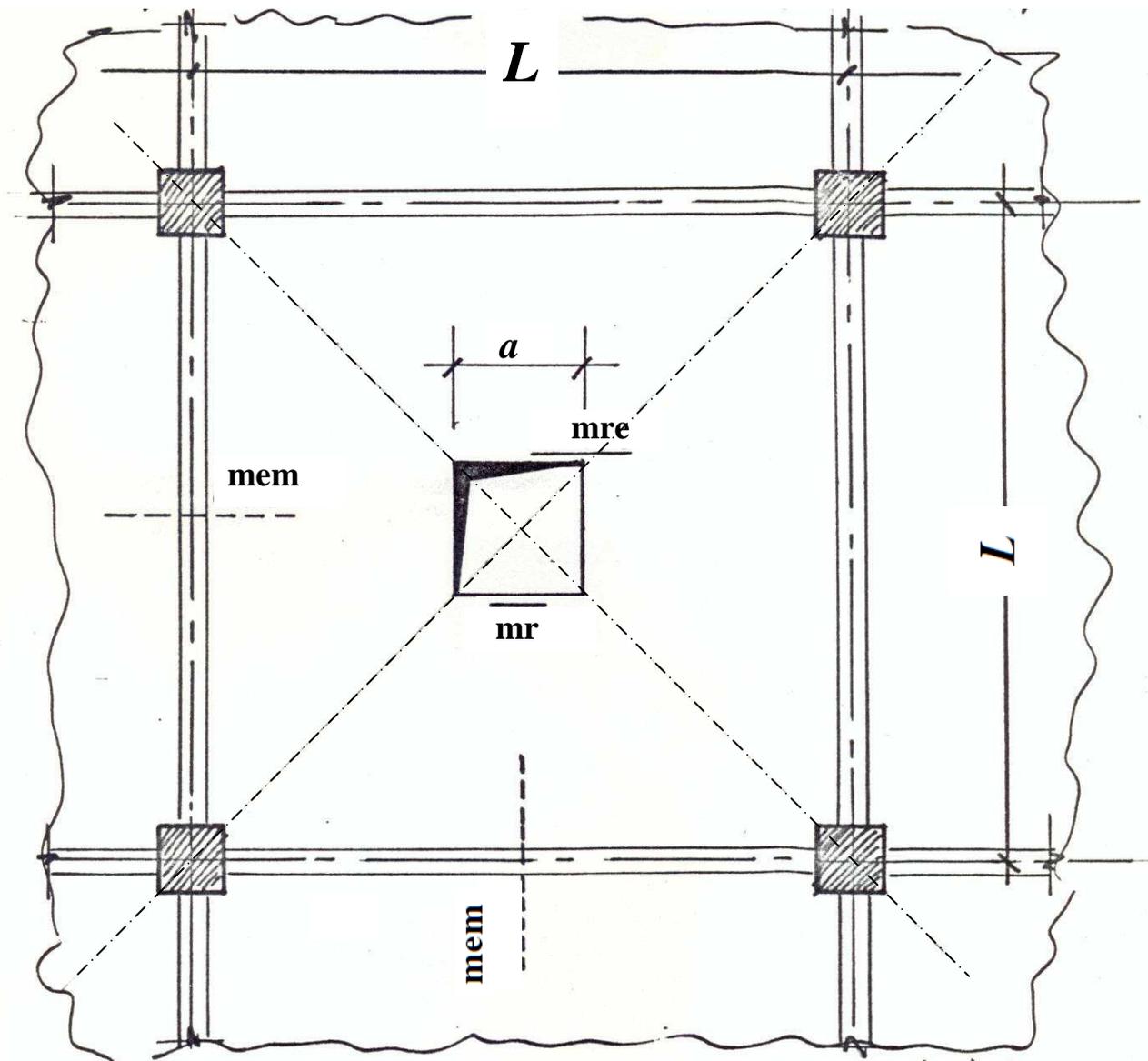




Aberturas em lajes – Momentos fletores na laje.

Laje quadrada armada em cruz, com abertura quadrada no centro, ver Stiglat [19].



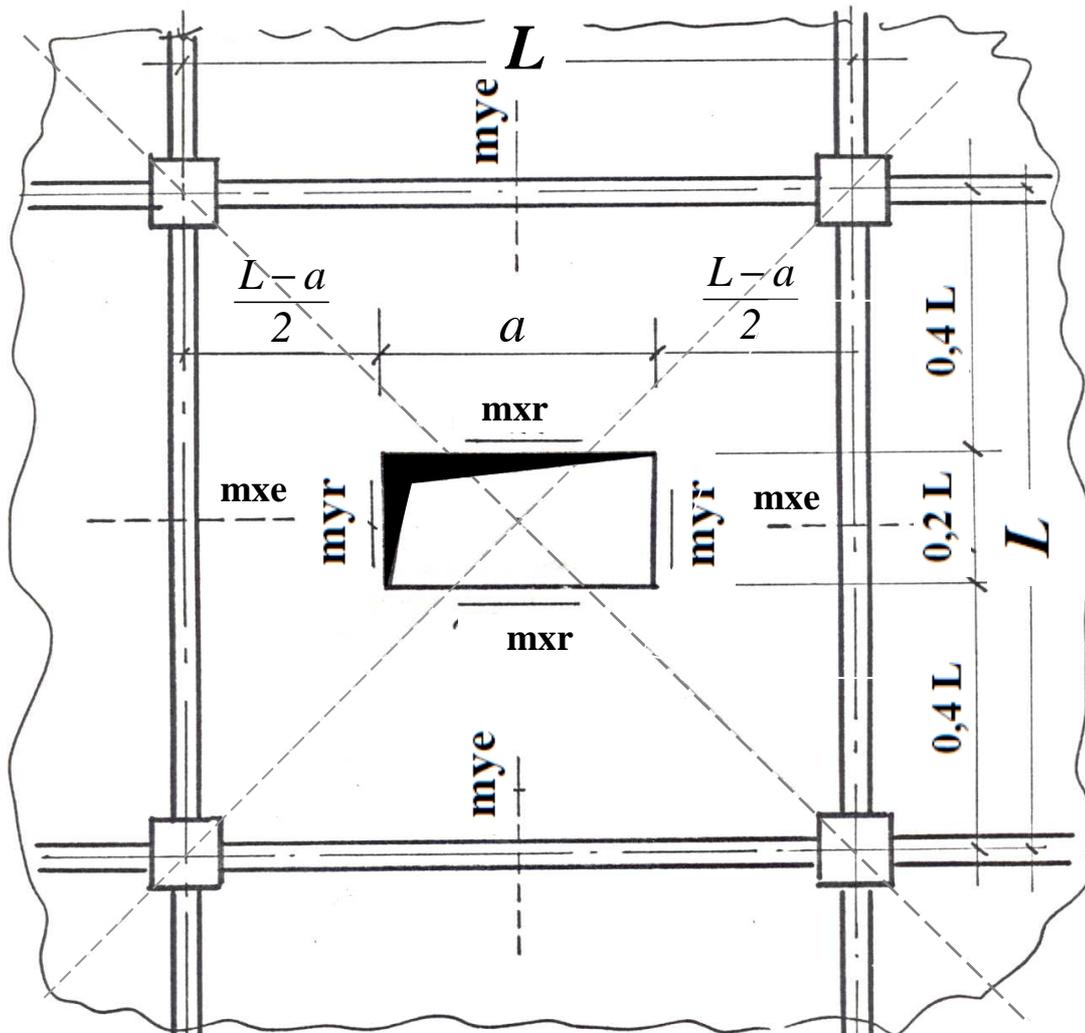
$m_i = K_i \cdot p \cdot L^2$, onde p é a carga distribuída na laje.

Valores de K_i

a/L	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
mem	-0,052	-0,048	-0,036	-0,019	-0,005	0
mr	0,018	0,022	0,010	0,004	0,001	0
mre	0,018	0,015	0,008	0,003	0,001	0



Laje quadrada, armada em cruz, com abertura retangular no centro, ver Stiglat [19].



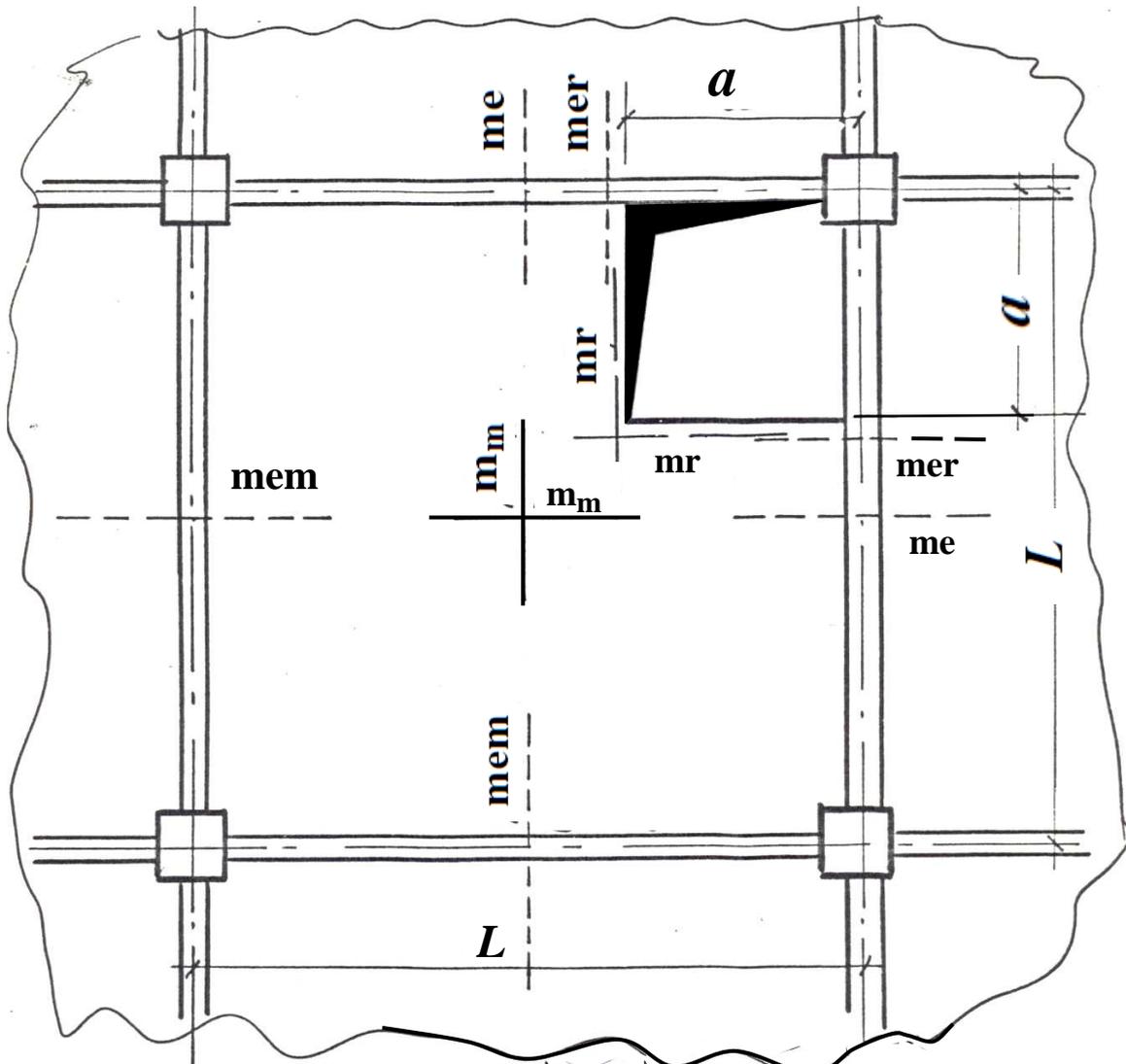
$$m_i = K_i \cdot p \cdot L^2$$

Valores de K_i

a/L	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
m_{ye}	- 0,052	- 0,048	- 0,044	- 0,041	- 0,041	-0,044
m_{xe}	- 0,052	- 0,048	- 0,045	- 0,041	- 0,030	0
m_{xr}	0,018	0,017	0,016	0,016	0,015	0,015
m_{yr}	0,018	0,022	0,015	0,011	0,009	0

**Laje quadrada , armada em cruz, com abertura quadrada no canto, ver Stiglat [19].**

Em lajes apoiadas em vigas, as aberturas próximas dos pilares não causam problemas estruturais. Nas lajes sem vigas, ao contrário, os furos junto dos pilares causam grande redução da resistência à punção da laje, que transmite a carga diretamente aos pilares.



$$m_i = K_i \cdot p \cdot L^2$$

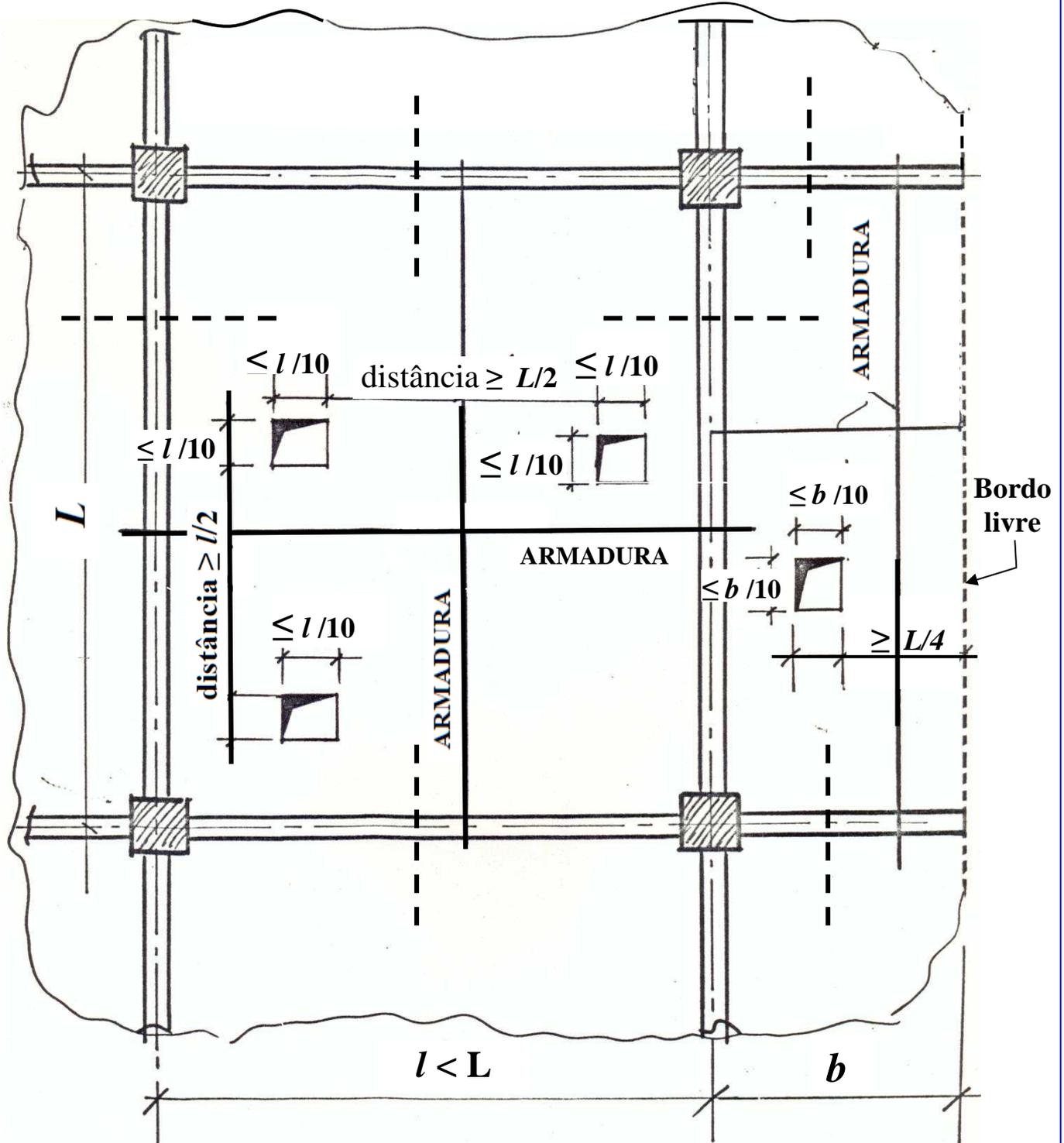
Valores de K_i

a/L	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
m_m	0,018	0,018	0,022	-	-	-
m_e	- 0,052	- 0,052	- 0,055	-	-	-
m_{er}	0	- 0,035	- 0,055	- 0,060	- 0,017	0
m_{em}	- 0,052	- 0,050	- 0,049	- 0,045	- 0,017	0
m_r	0	0,010	0,022	0,018	0,003	0



NB1/ 1978 – Item 6.2.1 - Lajes armadas em cruz.
NBR 6118 /2003 – Itens 13.2.5 -20.2 -21.3

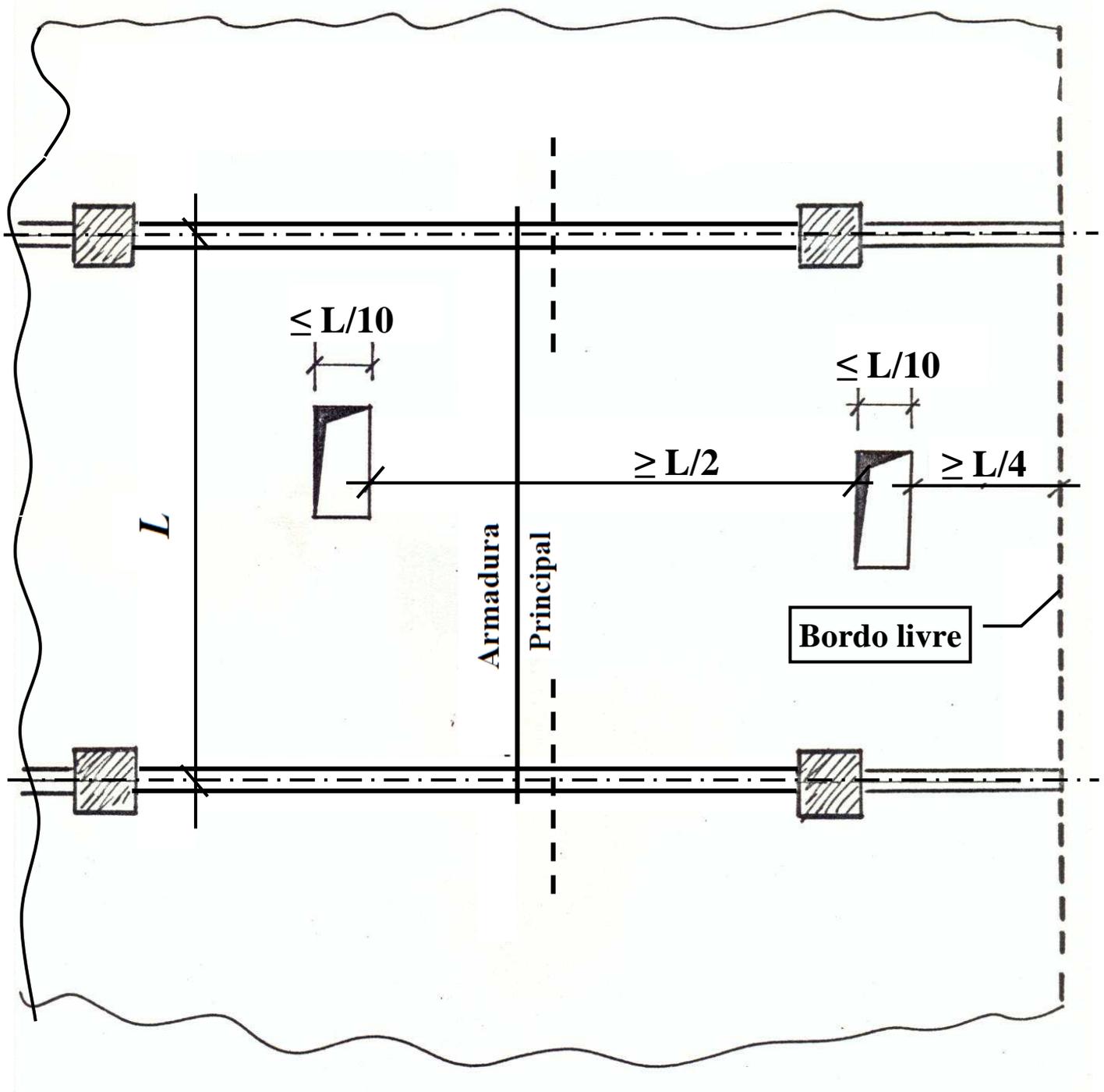
Se as aberturas nas lajes satisfizerem às condições geométricas abaixo indicadas não há necessidade de verificações adicionais.

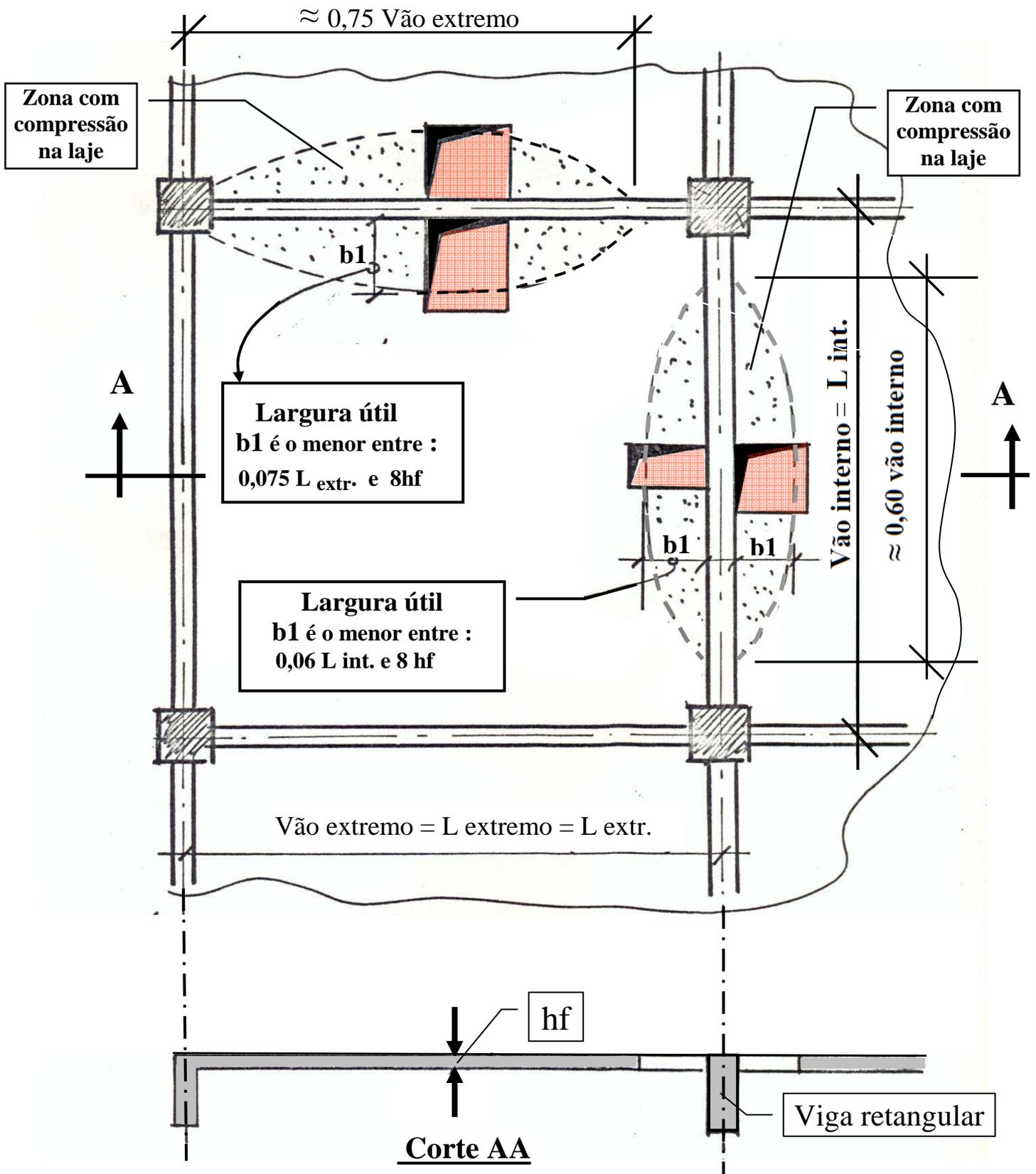




NB1/ 1978 – Item 6.2.1 - Lajes armadas em uma direção
NBR 6118 /2003 – Itens 13.2.5 -20.2 -21.3

Se as aberturas nas lajes satisfizerem às condições geométricas abaixo indicadas não há necessidade de verificações adicionais.

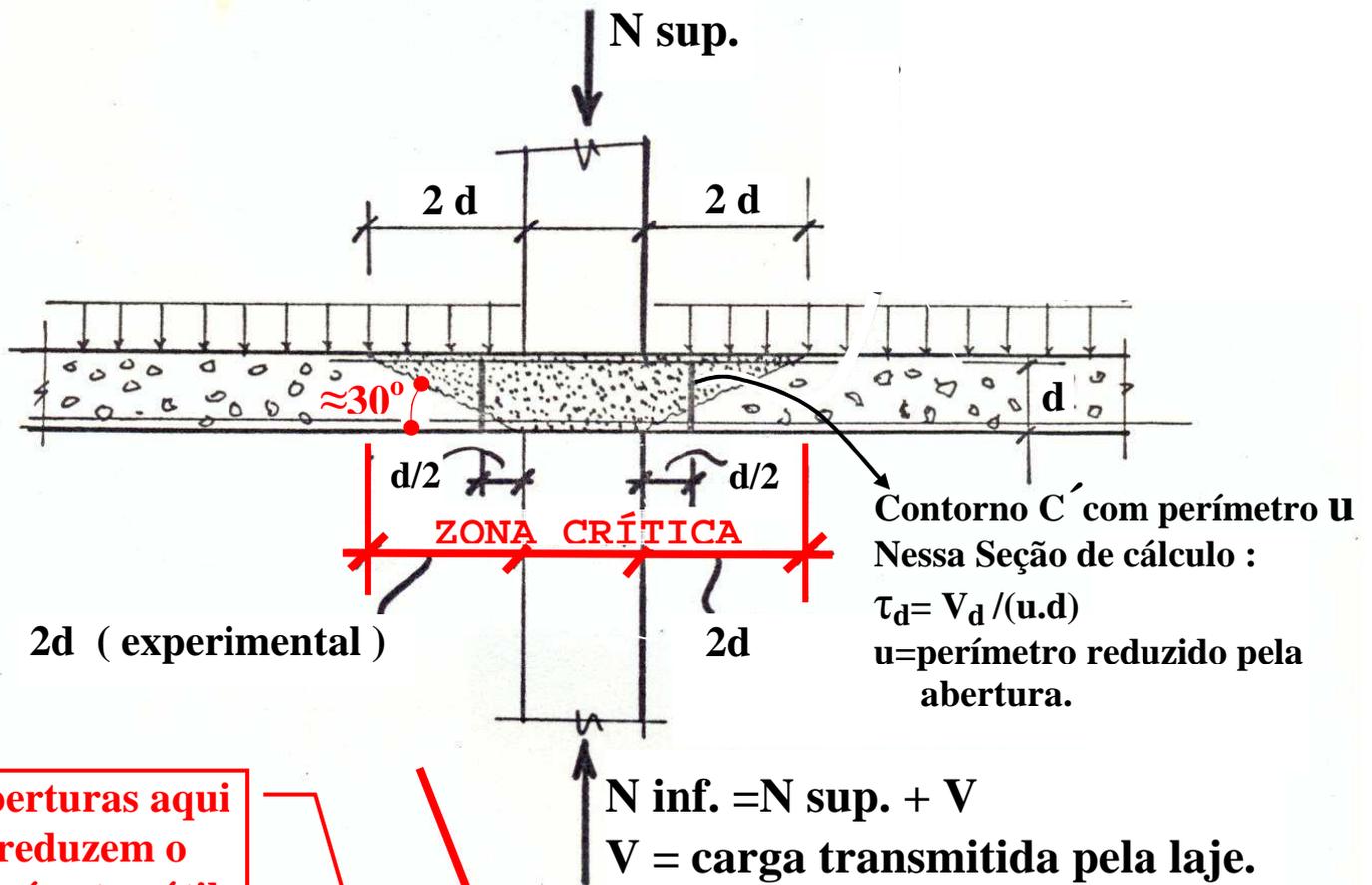


**Viga T** : NB1/ 1978 – Item 3.2.2.2 e NBR 6118 /2003 – Itens 14.6.2.2

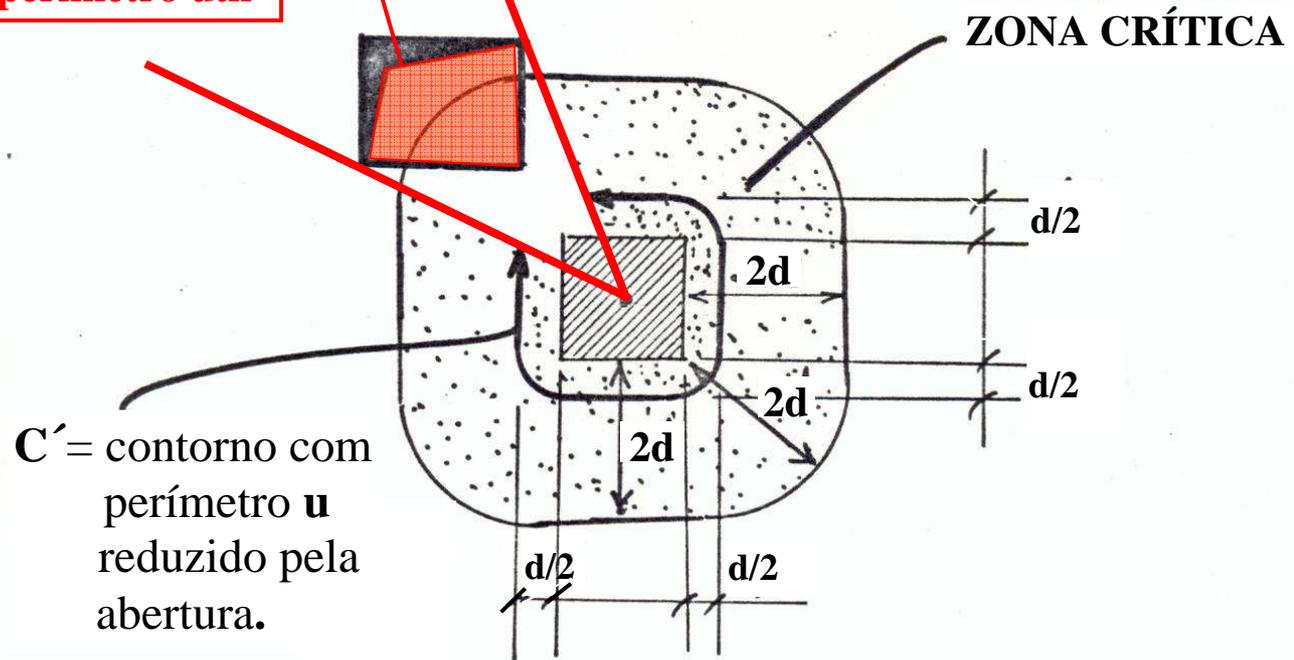
Nas lajes com aberturas na parte central do vão, próximo das vigas, não se pode considerar viga T e sim viga retangular. Em obras industriais, novas instalações criam aberturas entre os pavimentos, para a passagem de novas tubulações. Todas as vigas devem ser consideradas como viga retangular.



Laje lisa sem vigas : NB1/1978 - Item 4.1.5.1 e
NBR6118 /2003 - Item 19.5.2.6



Aberturas aqui reduzem o perímetro útil



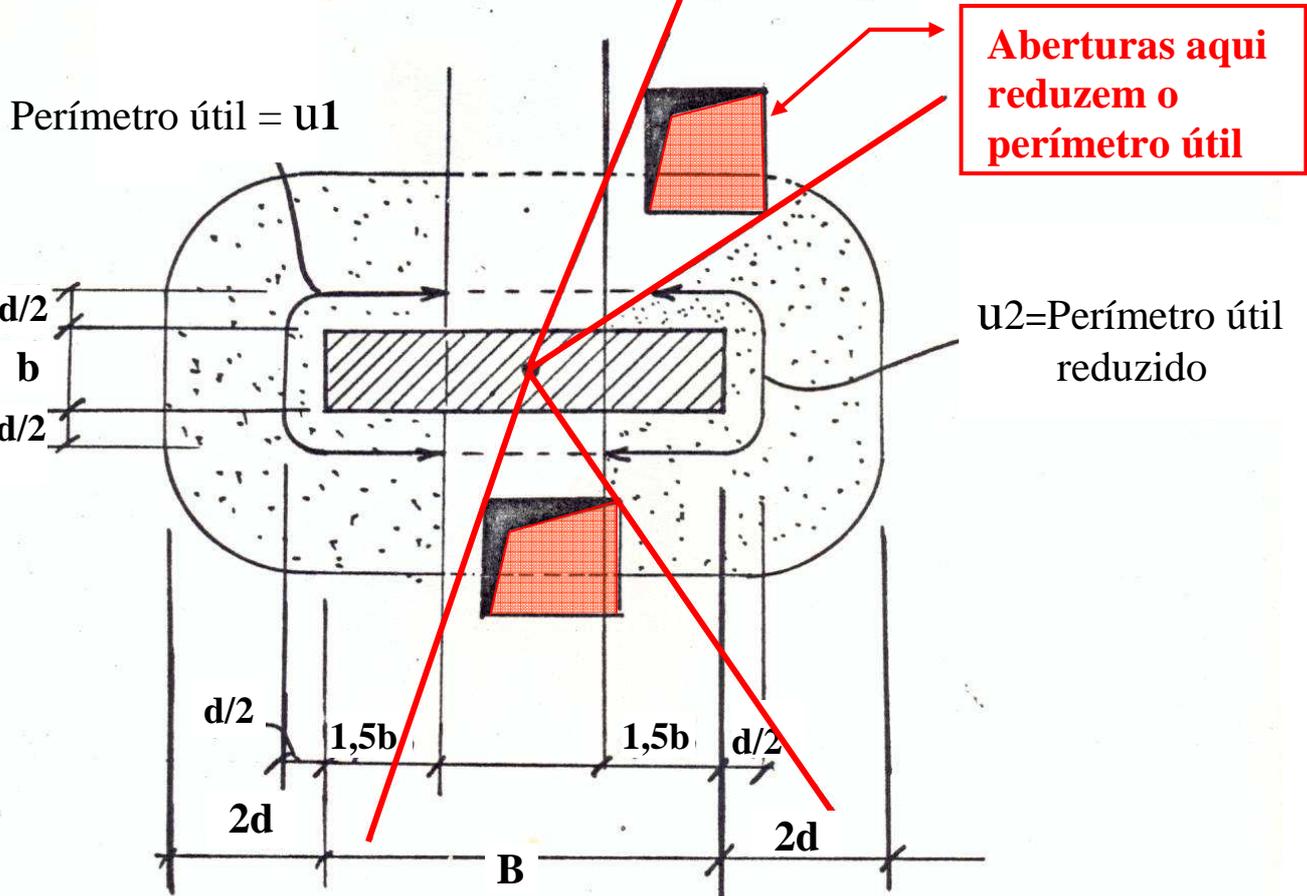
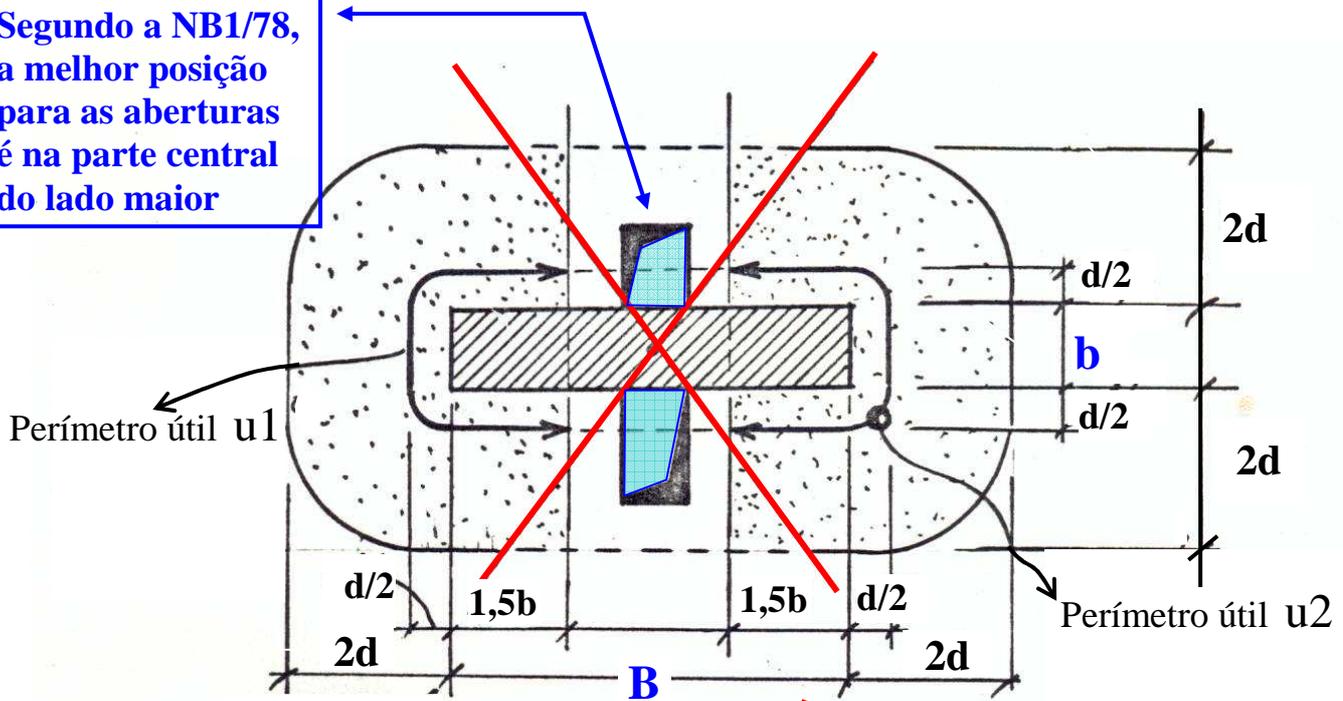
Perímetro útil reduzido = u



Laje lisa sem vigas : NB1/1978 – Item 4.1.5.1 e
NBR 6118 /2003 – Item 19.5.2.6

Pilar com lado B bem maior que o lado menor b.

Segundo a NB1/78,
a melhor posição
para as aberturas
é na parte central
do lado maior



Aberturas aqui
reduzem o
perímetro útil

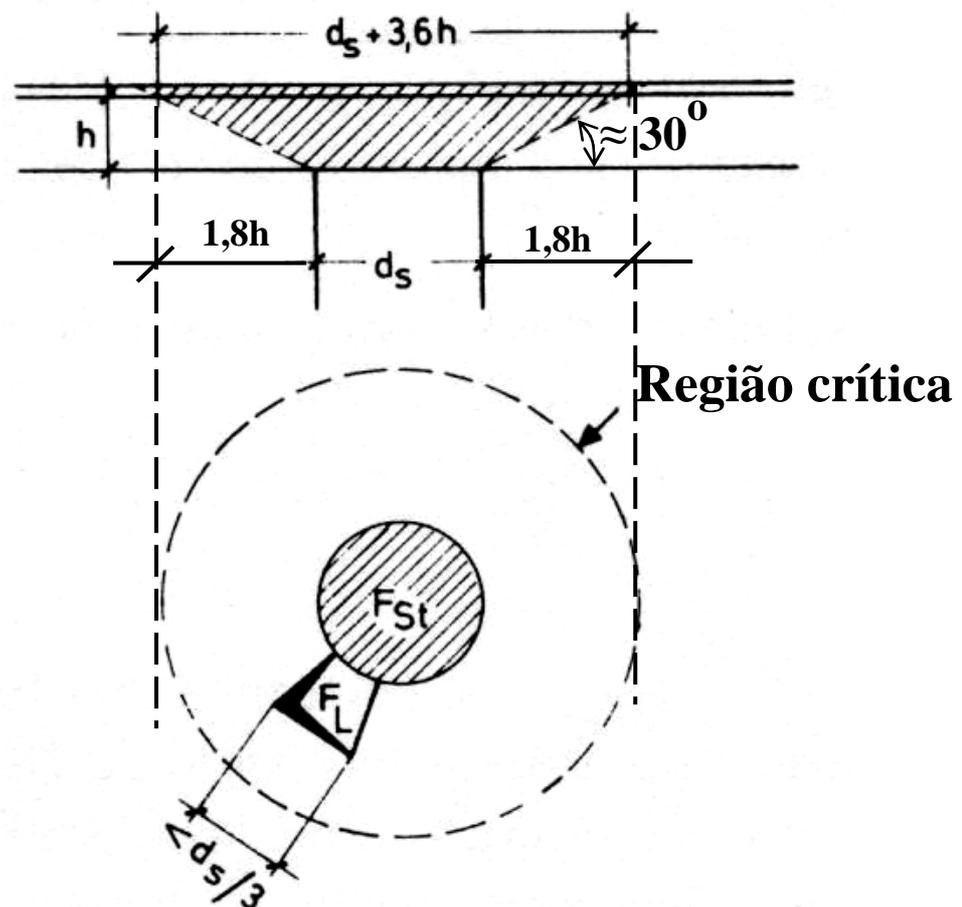
Perímetro útil reduzido $u = u1 + u2$

**Laje lisa sem vigas : Normas alemãs**

DIN 1045 / 1978 e DIN 1045 / 1988 item 22.6

Dimensões limites para as aberturas

Pilar circular

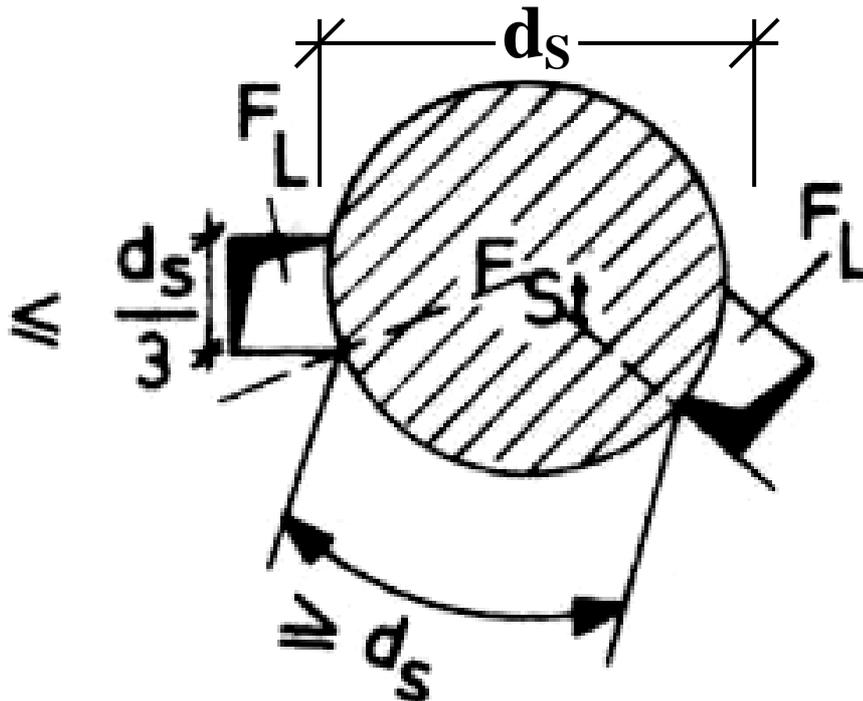


- d_s = diâmetro do pilar
- F_L = área de uma abertura
- F_{St} = área do pilar
- **O maior lado da abertura não pode ser maior do que 1/3 do Diâmetro do pilar.**

**Laje lisa sem vigas : Normas alemãs**

DIN 1045 / 1978 e DIN 1045 / 1988 item 22.6

Pilar circular



$$\sum F_L \leq \frac{1}{4} F_{St}$$

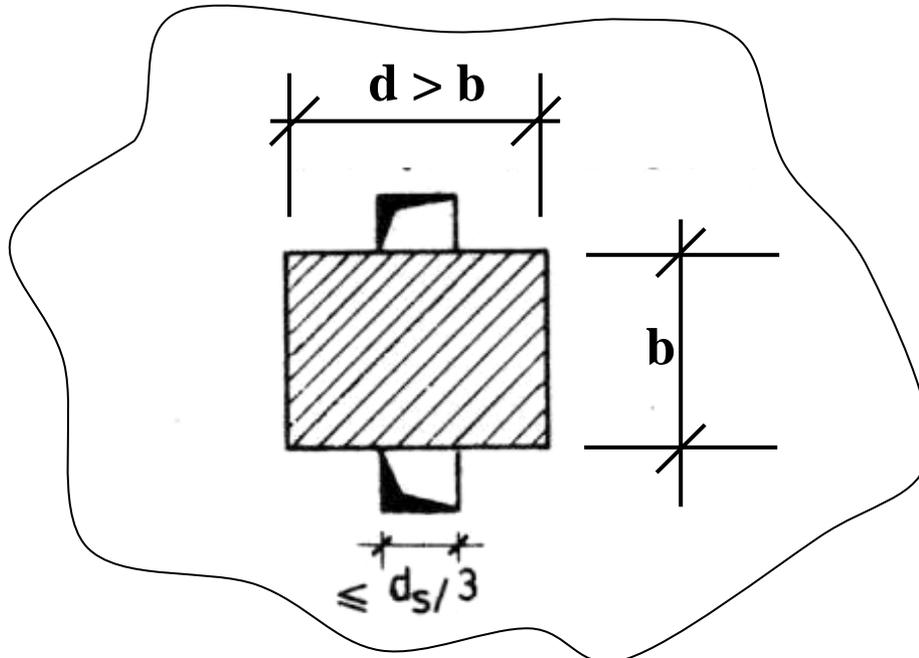
- d_s = diâmetro do pilar
- F_L = área de uma abertura
- F_{St} = área do pilar

Regras:

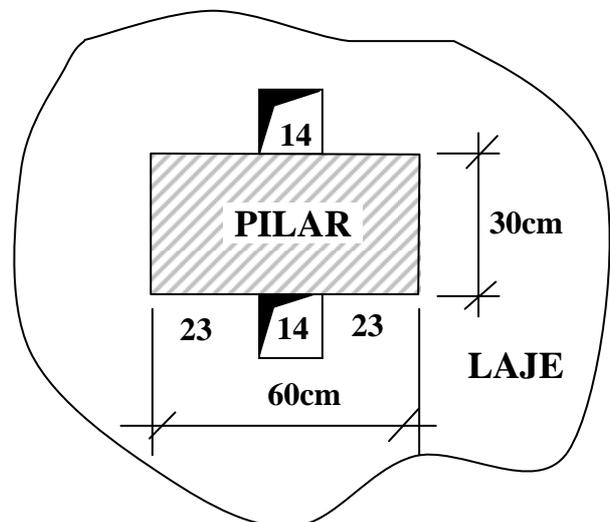
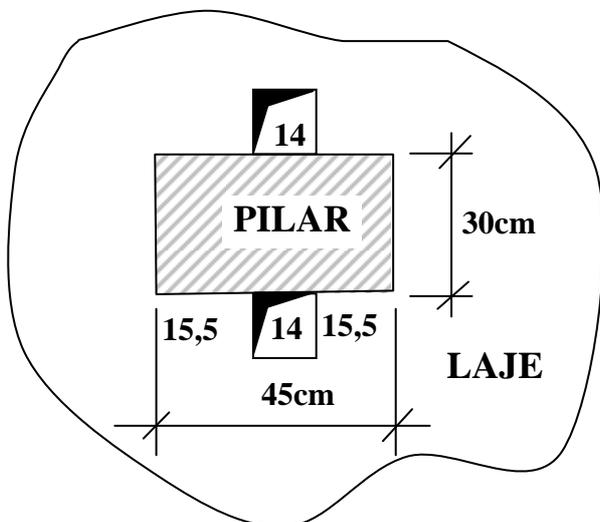
- A maior dimensão de uma abertura deve ser menor que 1/3 do diâmetro do pilar circular.
- A soma das áreas das aberturas $\sum F_L$ deve ser menor que 1/4 da área do pilar F_{St} .
- A distância entre as aberturas deve ser maior que o diâmetro do pilar d_s .

**Laje lisa sem vigas : Normas alemãs**

DIN 1045 / 1978 e DIN 1045 / 1988 item 22.6

Pilar retangular

- Aberturas só são permitidas no terço médio do maior lado
- A maior dimensão deve ser menor do que $\frac{d_s}{3}$, sendo $d_s = 1,13\sqrt{b \times d}$
- Limitar na fórmula acima $d \leq 1,5b$ (se $d > 1,5b$ usar $d = 1,5b$)
- Exemplo : Pilares com $b = 30\text{cm} \times d = (45\text{cm ou } 60\text{cm})$
- Abertura máxima com dimensão $\leq \frac{d_s}{3} = \frac{1,13 \times \sqrt{30\text{cm} \times 45\text{cm}}}{3} = 14\text{cm}$



Os dois exemplos acima mostram que em pilares com um lado muito grande, segundo a DIN 1045, a abertura permitida fica limitada.



Referências

1. Fritz Leonhardt e E.Mönnig – Vorlesungen über Massibau - *Construções de Concreto* - 1977
2. F. K. Kong e G.R.Sharp - Shear Strength of Lightweight Reinforced Concrete Deep Beam with Web Openings –*The Structural Engineer* – August 1973 – No 8 – Vol. 51
3. F. K. Kong e G.R.Sharp - Structural Idealization for Deep Beams with Web Openings – *Magazine of Concrete Research* – Vol. 29 No 99 June 77 e Vol. 30 No 103 June 78
4. Constantin Avram – Untersuchungen zum Tragverhalten Wandartiger Träger mit Öffnungen – *Ensaio sobre o comportamento na ruptura de vigas paredes com aberturas.* - *Beton und Stahlbetonbau* 1/1978
5. Ernani Diaz – Determination of Stresses around Rectangular Openings in Walls – 1978
6. Hans R. Daniel – Torsion in Concrete Beams Containing an Opening. *Journal of the Structural Division* - March 1977
7. Marvin A. Larson - Plastic Design of Web Openings in Steel Beams – *Journal of the Structural Division* – May 1976
8. SK. Abdus Salam – Prestressed Concrete Beams with Transverse Circular Holes – *Journal of the Structural Division* – March 1979
9. Promon – Viga Recortada Solicitada à Flexão Pura – Estudo por Elementos Finitos 1975
10. Julio Ricaldoni – Contribucion al Estudio de los Muros de Corte com Aberturas – *Jornadas Sulamericanas de Engenharia Estrutural* – 1978
11. Péricles B. Fusco – Detalhamento de Armaduras – Aspectos Críticos – Promon – 1975 – 1976
12. K. Stiglat – Platten – Wilhelm Ernst & Sohn – 1973
13. NB1/78 – Norma ABNT de Concreto Armado
14. DIN 1045 / 78 – Norma Alemã de Concreto Armado
15. K Stiglat e H. Wippel - Massive Platten – Platten mit Öffnungen – *Lajes com Aberturas.* *Beton Kalender* – 1997 – Parte I.
16. J. Schlaich e K. Schäfer – Konstruieren im Stahlbetonbau – Öffnungen in Platten *Aberturas em lajes* - *Beton Kalender* 1998 – Parte II .



17. F. Czerny – Rechteckplatten - *Lajes retangulares* - Beton Kalender – 2000 – Parte II.
18. Péricles B. Fusco – Técnica de armar as estruturas de concreto – PINI - 1995
19. K Stiglat e H. Wippel - Massive Platten – Platten mit Öffnungen – *Lajes com Aberturas*. Beton Kalender – 2000 – Parte II.
20. Péricles B. Fusco – Estruturas de Concreto – Solicitações Tangenciais – PINI 2008
21. DIN 1045-1 / 1988 – Norma Alemã de Concreto Armado
22. DIN 4227 / 2000 – Norma Alemã de Concreto Protendido
23. DAfStb – Richtlinien für hochfesten Beton – 1995 - *Regras para concretos de alta resistência*. Complementos da norma DIN 1045.
24. NB-1– 1946 – Cálculo e Execução de Obras de concreto armado.
25. NBR-6118 / 2003 - Norma Brasileira de Concreto Armado e Protendido
26. Beton Kalender –Vol. I e Vol. II - 1999
27. Beton Kalender –Vol. I e Vol. II - 2002
28. EuroCode – 2 - Concreto Armado e Concreto Protendido - 2011
29. FIB ≡ CEB-FIP – Model Code - 2010

