E4D

E S C A D A S

1 - Dimensões

As dimensões p (passo) e h (altura do degrau) são variáveis segundo a destinação da escada.

Em geral p = 25cm e h = 17cm para escadas interiores. Escadas mais abruptas podem ter p = 20 e h = 20cm. Para uma escada mais confortável pode-se usar p = 28 e h = 16cm.

Recomenda-se que as dimensões p e h verifiquem a relação:

$$p + 2h = 62 \text{ a } 64$$

Ainda considerando as escadas interiores a largura correntemente adotada é 1,0m. Para as escadas de serviço podemos ter o mínimo de 0,70m.

As escadas exteriores tem em geral p = 30cm e h = 15cm.

Sendo D o desnível a vencer com a escada e n o número de degraus, $n = \frac{D}{h}$; enquanto o desenvolvimento horizontal da escada ocupará o espaço $H = p\ (n - 1)$.

O traçado de uma escada com degraus radiais deve sofrer um balanceamento. É o caso da figura 1, onde à esquerda temos o traçado original e à direita o traçado correto da escada.

Deve-se evitar a diminuição brusca do passo dos degraus retos para os radiais.

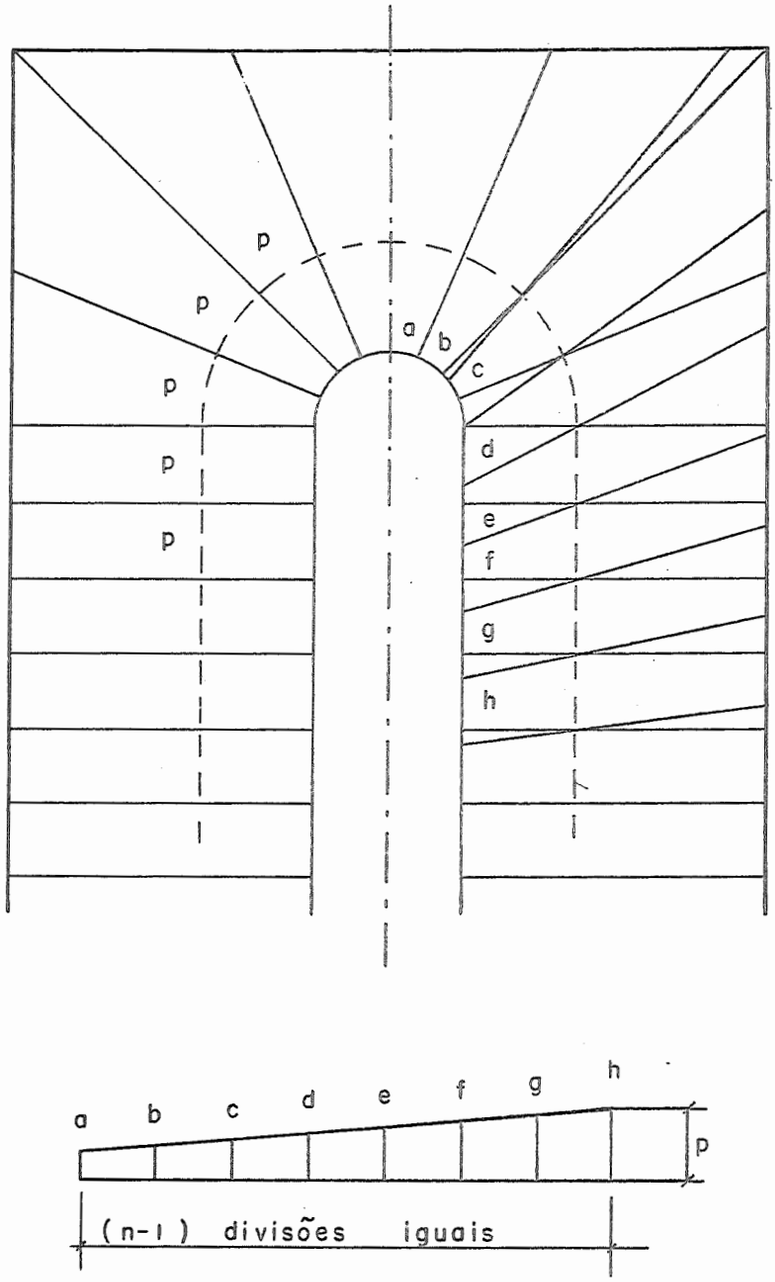


Figura 1

Com o balanceamento se consegue a variação gradual do passo medido junto ao bordo interior desde o mínimo a até o passo p.

Se houver x degraus radiais o número de degraus balanceados será 2x.

2 - Cargas de Cálculo

As cargas a serem consideradas no cálculo serão:

a) pêso próprio
b) revestimento
c) sobrecarga

Sendo p o pêso próprio por m^2 de projeção horizontal:

$$p = 2.400 \left(\frac{d}{\cos \alpha} + \frac{h}{2}\right)$$

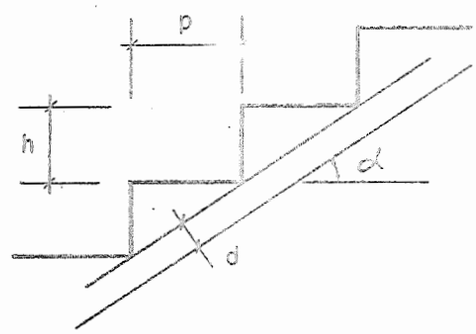


Figura 2

O pêso do revestimento pode variar de 50 a 100 kg/m^2 conforme a sua espessura.

De acôrdo com o ítem 3 da NB-5 a sobrecarga terá os seguintes valores:

em residências $q = 200\ kg/m^2$

em edifícios residenciais $q = 300\ kg/m^2$

em edíficios públicos $q = 400\ kg/m^2$

A carga do parapeito, conforme os ítens 5 e 6 da NB-5, consiste em uma carga vertical de 200 kg/m sob o parapeito e uma carga horizontal de 80 kg/m na altura do mesmo.

3 - Escada em Laje Simplesmente Apoiada

Considera-se como laje da escada a parte do concreto de espessura contínua d, conforme a figura 2. No cálculo consideramos a laje como sendo a parte resistente da escada, suportando portanto os degraus.

A figura 3 representa uma escada em laje simplesmente apoiada nas extremidades.

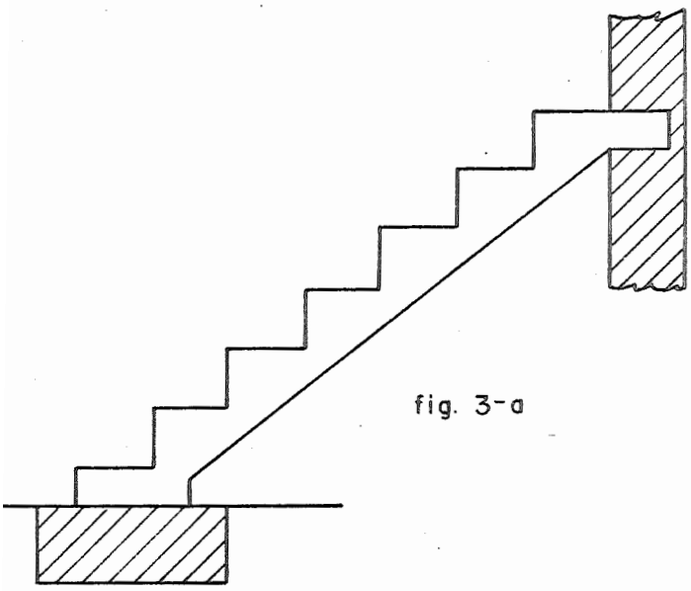


fig. 3-a

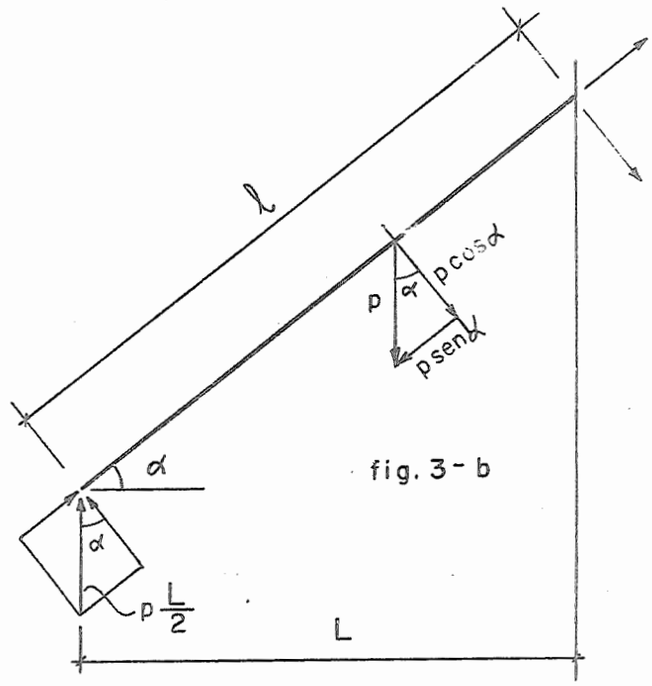


fig. 3-b

Sendo p a carga total por m^2 de projeção horizontal, a componente p cos α solicita a laje por flexão segundo o vão ℓ. O momento máximo será:

$$M = \frac{p \cos^2 \alpha \ \ell^2}{8} \quad \text{ou} \quad M = \frac{p L^2}{8}$$

desde que $L = \ell \cos \alpha$ e $p \cos^2 \alpha$ é a carga por m^2 segundo a direção da escada.

O esfôrço cortante nas extremidades será $p \cos^2 \alpha \frac{\ell}{2}$ ou $p \frac{L}{2} \cos \alpha$. Supondo as mesmas condições de apôio nas duas extremidades os esforços tangenciais p sen α vão produzir as reações $p \frac{L}{2}$ sen α, de tração na extremidade superior e compressão na extremidade inferior. As tensões produzidas são bastante pequenas e não precisam ser lavados em conta nos cálculos.

As extremidades também poderão ser engastadas e o cálculo será feito considerando as condições estáticas.

4 - <u>Escada Em Laje com Patamar</u>

Podemos ter várias disposições conforme a figura 4.

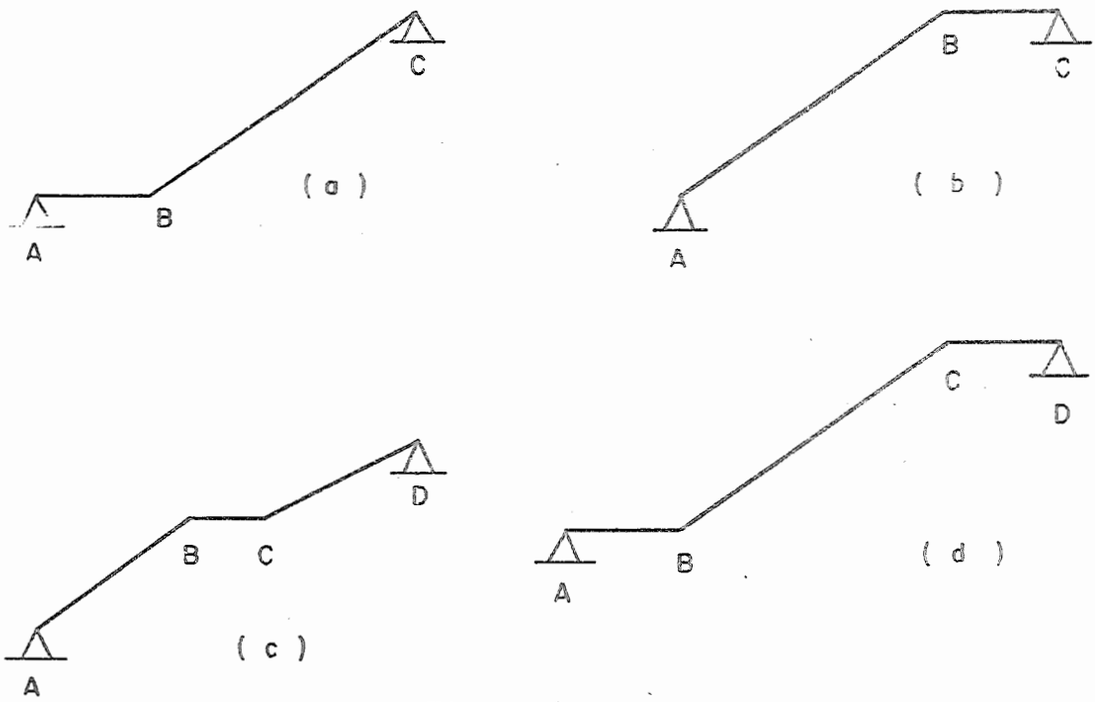


Figura 4

O cálculo consiste em se considerar o vão como simplesmente apoiado, lembrando que a carga atuante no patamar em geral é diferente da carga atuante na escada pròpriamente dita.

Nos casos (a) e (b), dependendo das condições de extremidade o funcionamento real da estrutura pode ser melhor interpretado com o cálculo que passaremos a expor.

Assimilamos o comportamento estático da estrutura ao representado na figura 5-a. A reação R_B pode ser dada pela composição das compressões C_e e C_p, na escada e na plataforma respectivamente. Aqui intervem as condições de extremidade.

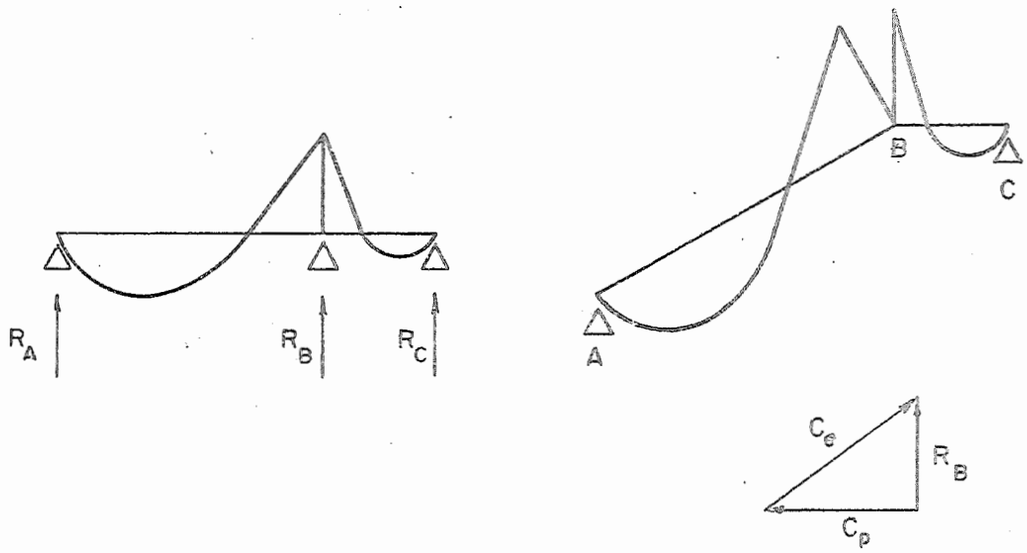


Figura 5-a

Os casos (c) e (d) não são passíveis dêsse tratamento por se tratar de estruturas deformáveis.

Quanto a primeira maneira de cálculo, deve ser observado o detalhe correto da armadura conforme a figura 6-b. A armadura representada em 6-a, tenderá a retificação, saltando fora da massa de concreto

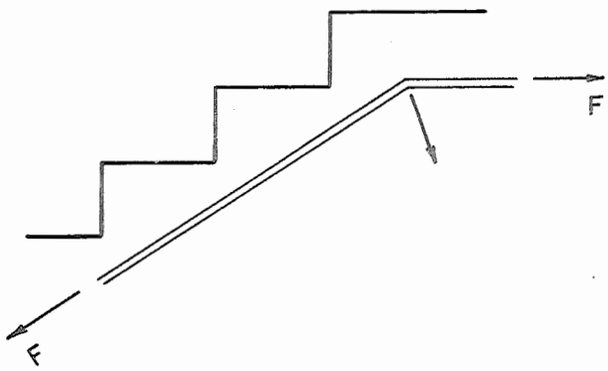


Figura 6-a

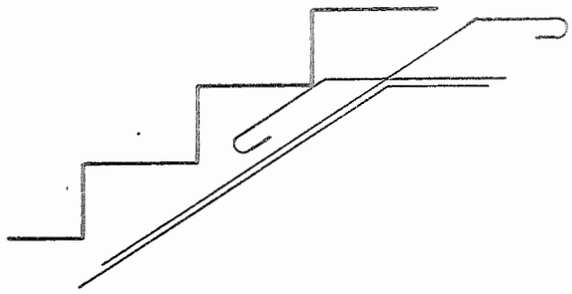


Figura 6-b

5 - Escadas Com Lances Adjacentes

Nêste tipo vários casos de apôio são possíveis. É o que representa a figura 7.

No primeiro caso contamos com apoios AB e CD. Recaimos aqui no caso de escada em laje com patamar. O lance inferior é conforme a figura 4-b e o lance superior conforme a figura 4-a.

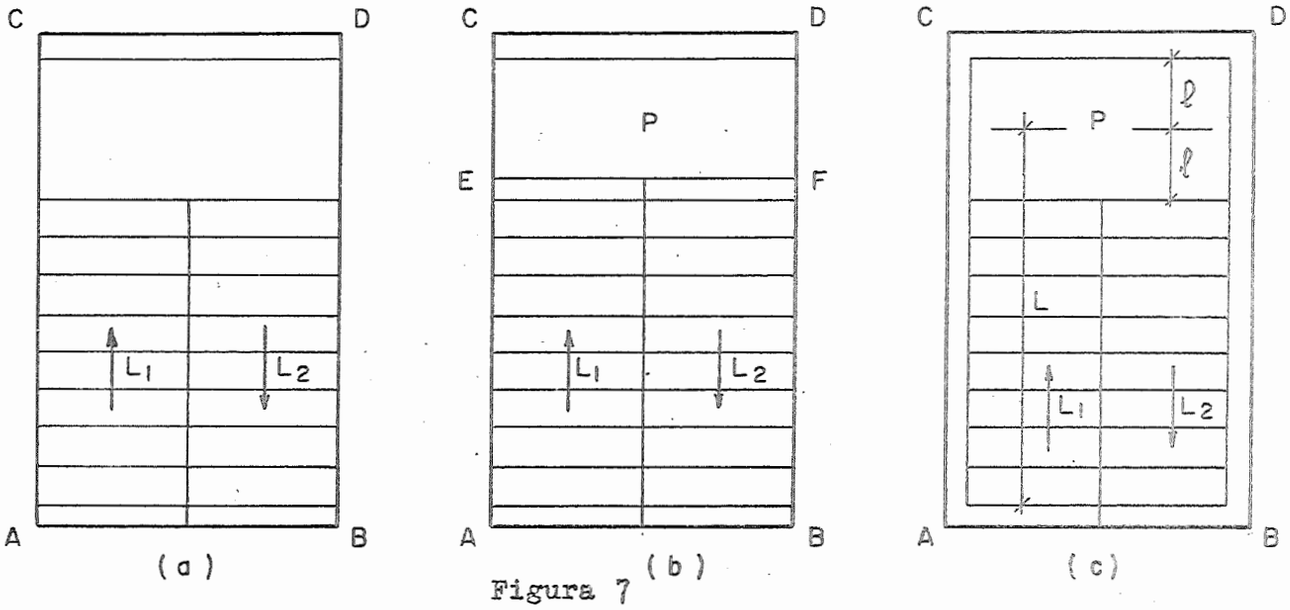


Figura 7

O segundo sistema apresenta a viga adicional EF, sempre que possível embutida no próprio patamar (figura 8).

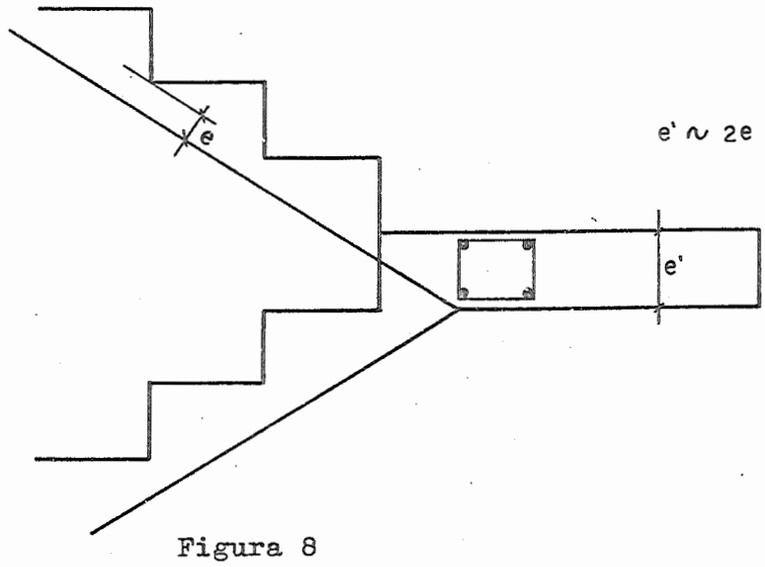


Figura 8

Teremos então dois lances simplesmente apoiados, ou se quisermos podemos ~~engastar os~~ lances inclinados e o patamar.

No primeiro caso o patamar se calcula como laje armada segundo uma direção, apoiada em CD e EF. No segundo caso, apoiada em CD, engastada em EF.

No terceiro sistema a escada é apoiada segundo todo seu contôrno.

O lance inferior é considerado como tendo 3 apoios: a viga AB, a viga AC e o próprio patamar.

Os vãos a considerar serão sua largura e a distância L entre a viga AC e a linha média do patamar. As condições de apôio do lance superior são as mesmas.

O patamar se calcula como laje apoiada em 3 lados, levando em conta a carga recebida dos lances, como apôio dos mesmos.

A seguinte tabela torna-se útil para o cálculo das lajes apoiadas em três lados.

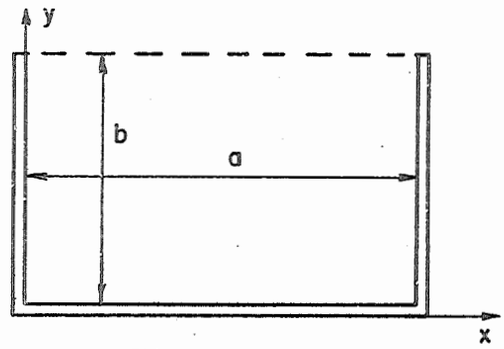


Figura 9

No bordo livre

$$Mx = \beta\, pa^2$$

No centro

$$Mx = \beta_1 pa^2$$

$$My = \beta_2 pa^2$$

b/a	1/2	2/3	1	1,5	2	3	∞
β	0,060	0,083	0,112	0,128	0,132	0,132	0,132
β_1	0,039	0,055	0,080	0,101	0,113	0,122	0,125
β_2	0,022	0,030	0,039	0,042	0,041	0,039	0,037

6 - Escadas Em Lajes Ortogonais

Estudaremos aqui as escadas em L e U. Figura 10.

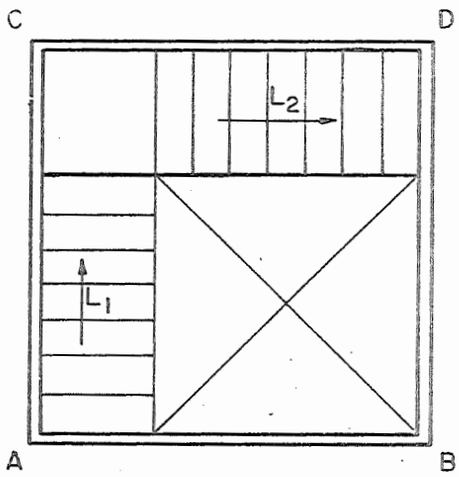


Figura 10-a

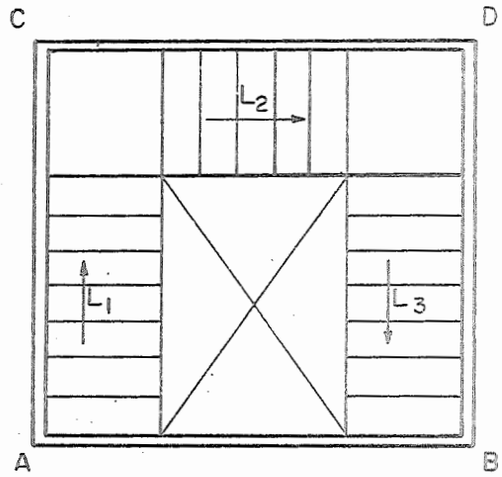


Figura 10-b

Na escada em L, o lance L_1 está apoiado em AB, AC e, na linha média do patamar do lance L_2.

Êste último apoia-se em AC, CD e DB. L_1 e L_2 são então lajes sôbre 3 apoios. Uma tábua pode ser interposta entre L_1 e a viga AC no trecho AC', entre L_2 e a viga CD, com o que teremos lajes sôbre dois apoios sòmente, simplificando portanto o cálculo.

No trecho L_2 devemos considerar a carga recebida, como apôio, do trecho L_1, que pode ser distribuída uniformemente no patamar.

Observamos que em vez de patamar podemos ter também degraus radiais como representa a figura 11-a.

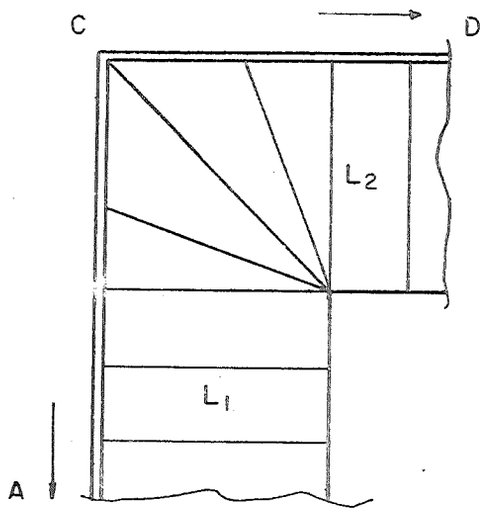


Figura 11-a

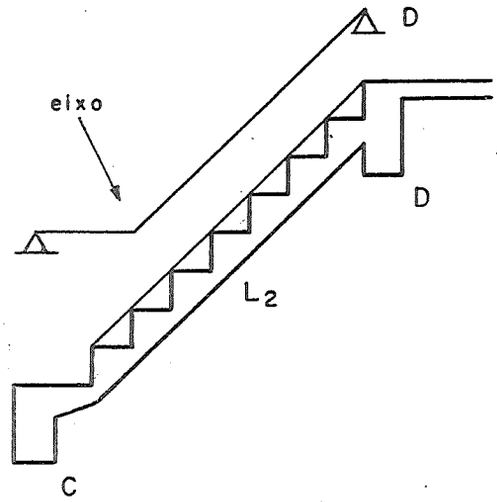


Figura 11-b

Nêsse caso a viga CD, como apôio do lance L_2, devendo acompanhá-lo segundo o contôrno exterior não terá de modo geral seu eixo contituído de trechos retos (um horizontal correspondente ao patamar e outro inclinado). Figura 11-b. O mesmo acontece com a viga AC.

As escadas em U podem ser resolvidas de modo semelhante.

7 - Escadas Em Balanço

Uma de suas extremidades é livre, a outra engastada. Na figura 12-a o engastamento se faz na viga lateral V.

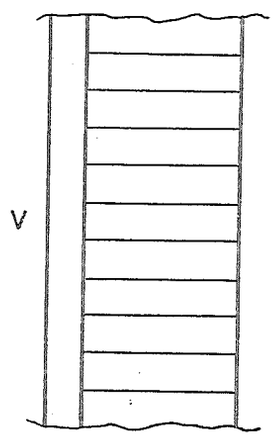


Figura 12-a

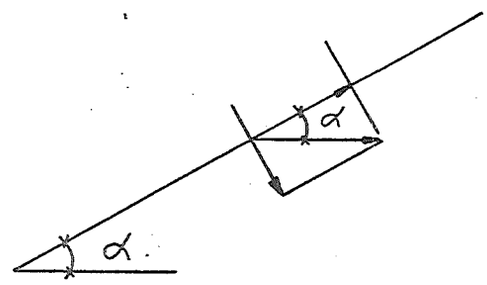


Figura 12-b

O cálculo da laje é bastante simples, sendo armada em uma única direção, com ferros negativos.

A viga deverá absorver o momento M (por metro linear) do engastamento e a reação correspondente ao pêso próprio e

sobrecarga da escada. Decompondo M segundo a direção da viga teremos o momento torsor M_t e segundo a direção perpendicular o momento fletor M_f. Quanto a M_f não provoca flexão na viga influindo apenas nas reações e no esfôrço cortante.

O corte transversal da escada apresenta muitas soluções, como vemos na figura 13.

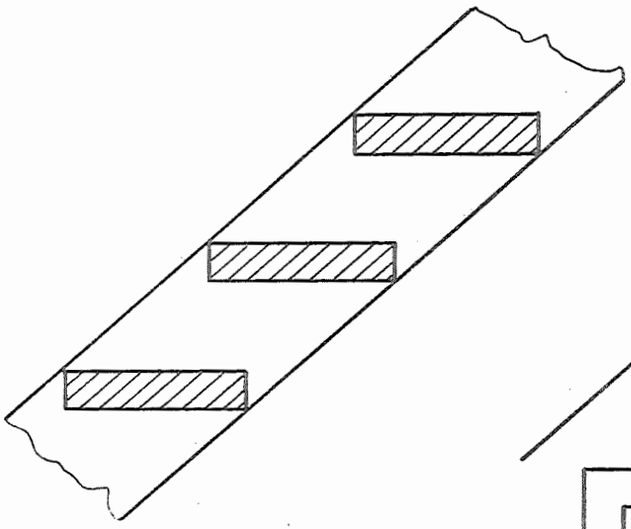


Figura 13-a

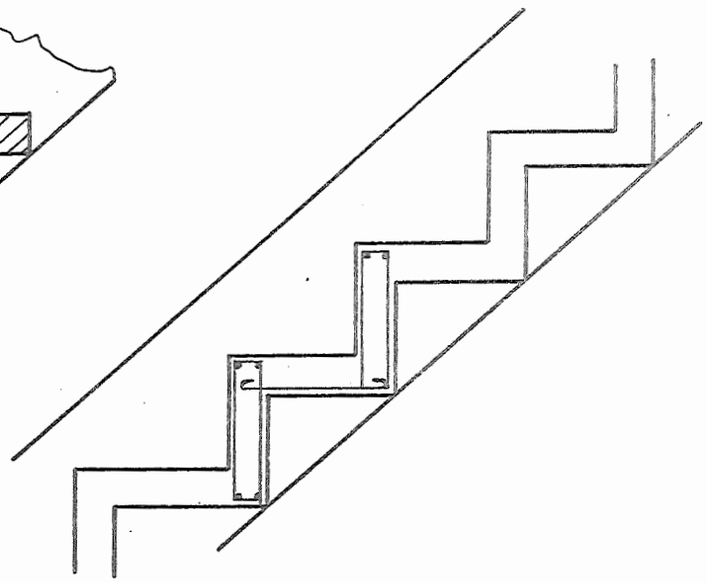


Figura 13-b

Na figura 13-b os espelhos dos degraus trabalham como vigas engastados na viga lateral e recebendo a carga dos degraus.

Os degraus podem também ser engastados em uma coluna, que estará sujeita a flexão composta.

Para o cálculo devem ser previstas as diversas possibilidades de carregamento.

8 - Escadas Em Laje Helicoidal

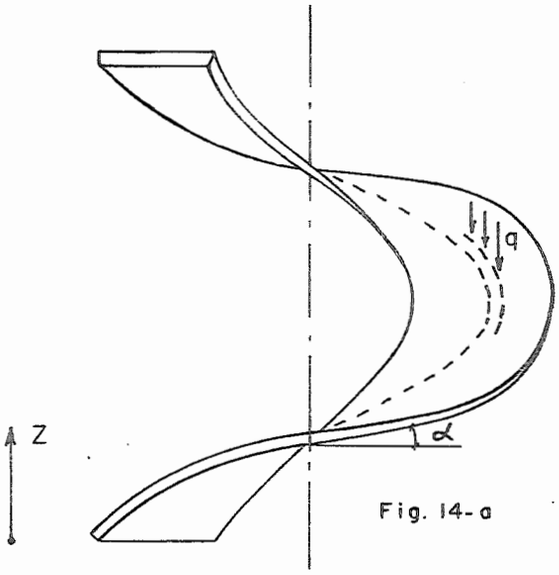


Fig. 14-a

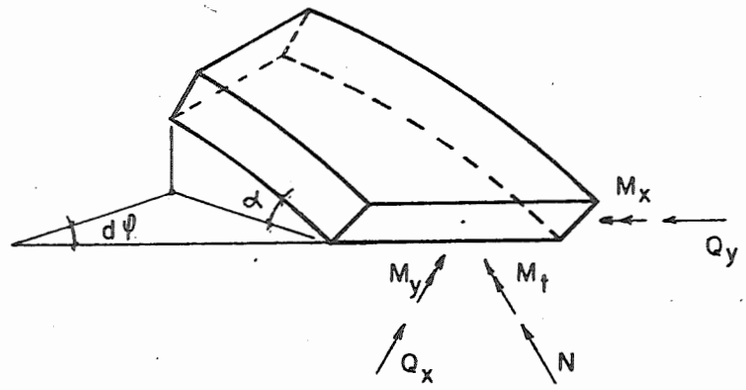


Fig. 14-b

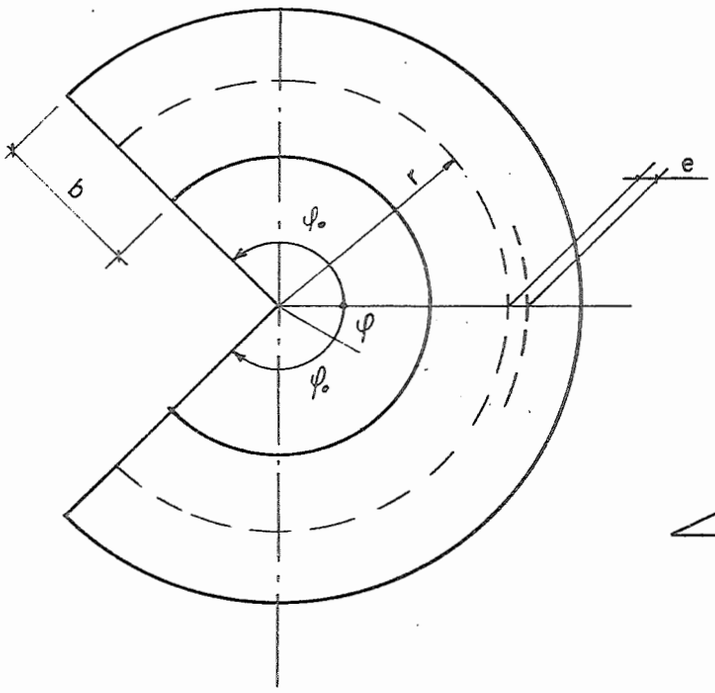


Fig. 14-c

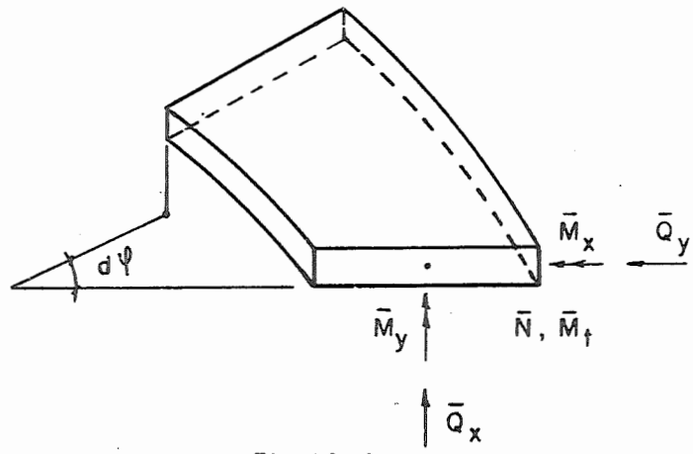


Fig. 14-d

As características geométricas da escada são a espessura da laje d, a largura b e o passo h da hélice tendo como projeção horizontal a circunferência de raio r.

Para o eixo da peça $z = \frac{h\varphi}{2\pi}$ e sendo α sua inclinação $tg\,\alpha = \frac{dz}{r\,d\varphi} = \frac{h}{2\pi r}$

O elemento representado na figura 14-b é obtido com os cortes transversais perpendiculares ao eixo da peça.

Os esforços aí considerados são N, Q_x, Q_y, M_x, M_y, M_t.

O segundo elemento (figura 14-d) possui as faces laterais perpendiculares ao plano horizontal e os esforços são $\overline{N}$, $\overline{Q}_x$, $\overline{Q}_y$, $\overline{M}_x$, $\overline{M}_y$, $\overline{M}_t$.

Temos as seguintes relações:

$$N = \overline{Q}_x \operatorname{sen} \alpha + \overline{N} \cos \alpha$$

$$Q_x = \overline{Q}_x \cos \alpha - \overline{N} \operatorname{sen} \alpha$$

$$Q_y = \overline{Q}_y$$

$$M_t = \overline{M}_y \operatorname{sen} \alpha + \overline{M}_t \cos \alpha$$

$$M_x = \overline{M}_x$$

$$M_y = \overline{M}_y \cos \alpha - \overline{M}_t \operatorname{sen} \alpha$$

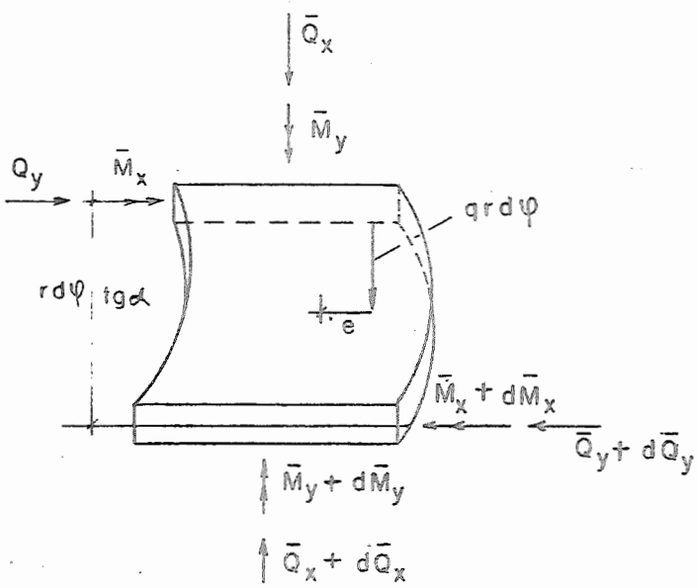


Figura 15-a

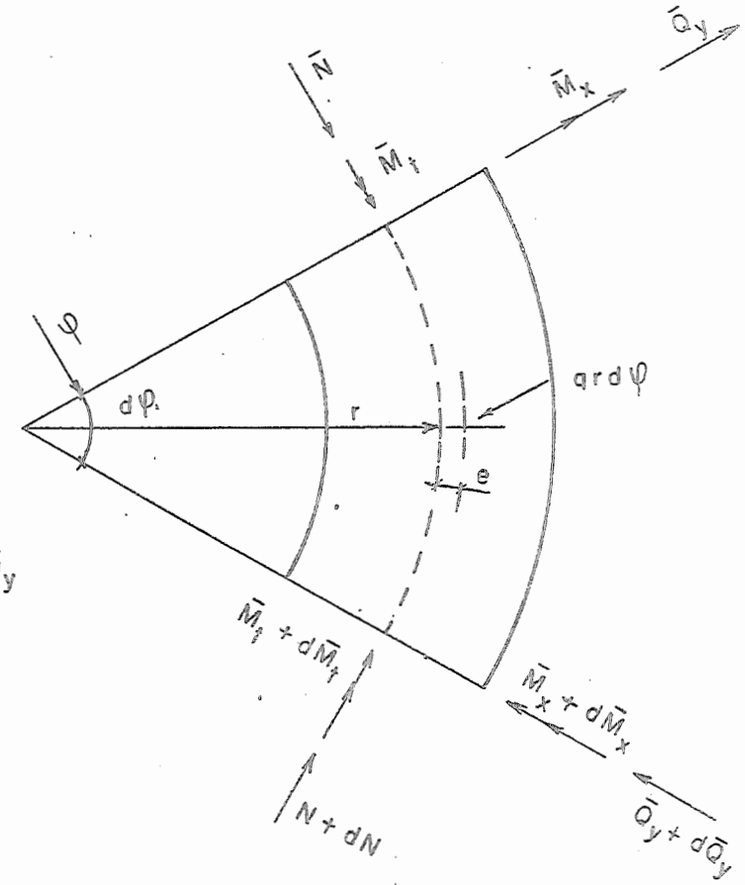


Figura 15-b

O centro de gravidade da carga aplicada q dista e do eixo da peça. Os elementos q e e podem ser função do ângulo φ.

As equações de equilíbrio (3 equações de fôrça e 3 equações de momento) estabelecendo para o segundo elemento darão:

radial $\quad \overline{N} - \dfrac{dQ_y}{d\varphi} = 0$

tangencial $\quad \dfrac{d\overline{N}}{d\varphi} + \overline{Q}_y = 0$

vertical $\quad qr - \dfrac{d\overline{Q}_x}{d\varphi} = 0$

plano radial $\quad qre + rtg\,\alpha\ \overline{Q}_y + \dfrac{d}{d\varphi}\overline{M}_t + \overline{M}_x = 0$

plano tangencial $\quad r\overline{Q}_x - rtg\,\alpha\ \overline{N} - \overline{M}_t + \dfrac{d}{d\varphi}\overline{M}_x = 0$

plano horizontal $\quad r\overline{Q}_y - \dfrac{d}{d\varphi}\overline{M}_y = 0$

A solução destas equações leva a

$$\overline{Q}_x = r\int_0^{\varphi} q\,d\varphi + \frac{1}{r}X_1 \operatorname{sen}\alpha$$

$$\overline{Q}_y = \frac{1}{r}(X_5\cos\varphi + X_3\operatorname{sen}\varphi)$$

$$\overline{N} = -\frac{1}{r}(X_5\operatorname{sen}\varphi - X_3\cos\varphi)$$

$$\overline{M}_x = f(\varphi) + X_4\operatorname{sen}\varphi + X_6\cos\varphi + tg\,\alpha\,(X_3\,\varphi\cos\varphi - X_5\,\varphi\operatorname{sen}\varphi)$$

$$\overline{M}_y = -\cos\alpha\,(X_1 + X_2) + X_5\operatorname{sen}\varphi - X_3\cos\varphi$$

$$\overline{M}_t = f'(\varphi) + r^2\int_0^{\varphi} q\,d\varphi + X_4\cos\varphi - X_6\operatorname{sen}\varphi +$$

$$+ \operatorname{sen}\alpha\ X_1 - tg\,\alpha\,(X_3\,\varphi\operatorname{sen}\varphi + X_5\,\varphi\cos\varphi)$$

onde f é determinada por

$$f''(\varphi) + f(\varphi) = -qr\,(r + e)$$

e

$$N = r\operatorname{sen}\alpha\int_0^{\varphi} q\,d\varphi + \frac{1}{r}\operatorname{sen}^2\alpha\ X_1 - \frac{1}{r}\cos\alpha\,(X_5\operatorname{sen}\varphi - X_3\cos\varphi)$$

$$Q_x = r\cos\alpha\int_0^{\varphi} q\,d\varphi + \frac{1}{r}\operatorname{sen}\alpha\cos\alpha\ X_1 + \frac{1}{r}\operatorname{sen}\alpha\,(X_5\operatorname{sen}\varphi - X_3\cos\varphi)$$

$$Q_y = \frac{1}{r}\,(X_5 \cos\varphi + X_3 \operatorname{sen}\varphi)$$

$$M_t = \cos\alpha\,\left[f'(\varphi) + r^2 \int_0^{\varphi} q\,d\varphi - \operatorname{sen}\alpha\; X_2 + X_4\cos\varphi - X_6 \operatorname{sen}\varphi\right] -$$

$$- \operatorname{sen}\alpha\,\left[X_3\,\varphi \operatorname{sen}\varphi + X_5\,\varphi\cos\varphi + X_3\cos\varphi - X_5 \operatorname{sen}\varphi\right]$$

$$M_x = f(\varphi) + \operatorname{tg}\alpha\,(X_3\,\varphi\cos\varphi - X_5\,\varphi \operatorname{sen}\varphi) + X_4 \operatorname{sen}\varphi + X_6\cos\varphi$$

$$M_y = -\operatorname{sen}\alpha\,\left[f'(\varphi) + r^2 \int_0^{\varphi} q\,d\varphi + X_4\cos\varphi - X_6 \operatorname{sen}\varphi\right.$$

$$\left. - \operatorname{tg}\alpha\,(X_3\,\varphi \operatorname{sen}\varphi + X_5\,\varphi\cos\varphi)\right] + \cos\alpha\,(X_5 \operatorname{sen}\varphi - X_3\cos\varphi) -$$

$$- X_1 - \cos^2\alpha\; X_2$$

Se a escada for engastada em uma extremidade e livre na outra temos um problema estàticamente determinado. Se escolhermos a extremidade livre para origem do ângulo φ, teríamos para $\varphi = 0$ as condições

$$M_x = M_y = M_t = Q_x = Q_y = N = 0$$

Resulta daí que

$$X_1 = X_2 = X_3 = X_5 = 0$$

$$X_4 = f'(0) \quad e \quad X_6 = -f(0)$$

Se $q = b(g + p)$ é constante então $e = \frac{b^2}{12r}$

Com $qr\,(r + e)$ constante, tomamos $f(\varphi) = -qr\,(r + e)$ e $f'(\varphi) = 0$ e' teremos os esforços

$$N = qr\,\varphi \operatorname{sen}\alpha$$

$$Q_x = qr\,\varphi\cos\alpha$$

$$Q_y = 0$$

$$M_t = qr^2\cos\alpha\,\left[\varphi - \left(1 + \frac{e}{r}\right)\operatorname{sen}\varphi\right]$$

$$M_x = -qr^2\left(1 + \frac{e}{r}\right)(1 - \cos\varphi)$$

$$M_y = qr^2 \operatorname{sen}\alpha\,\left[\varphi - \left(1 + \frac{e}{r}\right)\operatorname{sen}\varphi\right]$$

Se a escada é engastada nas duas extremidades, teremos um problema seis vêzes indeterminado. Escolhendo a origem da coordenada φ no meio da peça a solução será:

$$N = qr\,\varphi \operatorname{sen}\alpha - \frac{1}{r} X_5 \operatorname{sen}\varphi \cos\alpha$$

$$Q_x = qr\,\varphi \cos\alpha + \frac{1}{r} X_5 \operatorname{sen}\varphi \operatorname{sen}\alpha$$

$$Q_y = \frac{1}{r} X_5 \cos\varphi$$

$$M_t = qr^2\varphi \cos\alpha - X_6 \operatorname{sen}\varphi \cos\alpha - X_5\,\varphi \cos\varphi \operatorname{sen}\alpha + X_5 \operatorname{sen}\varphi \operatorname{sen}\alpha$$

$$M_x = f(\varphi) - X_5\,\varphi \operatorname{sen}\varphi \operatorname{tg}\alpha + X_6 \cos\varphi$$

$$M_y = qr^2\varphi \operatorname{sen}\alpha + X_6 \operatorname{sen}\varphi \operatorname{sen}\alpha + X_5\,\varphi \cos\varphi \operatorname{tg}\alpha \operatorname{sen}\alpha + X_5 \operatorname{sen}\varphi \cos\alpha$$

onde φ varia de $-\varphi_0$ (tôpo) a $+\varphi_0$ (pé)

$$X_5 = -\frac{\delta_{66}\,\delta_{05} - \delta_{56}\,\delta_{06}}{\delta_{55}\,\delta_{66} - \delta_{56}^2}$$

$$X_6 = -\frac{\delta_{55}\,\delta_{06} - \delta_{56}\,\delta_{05}}{\delta_{55}\,\delta_{66} - \delta_{56}^2}$$

$$\delta_{05} = 2qr^2 \operatorname{tg}\alpha \left[\left(4 - 3c - a + \frac{e}{r}\right)(\operatorname{sen}\varphi_0 - \varphi_0 \cos\varphi_0) - (1 - c)\varphi_0^2 \operatorname{sen}\varphi_0\right]$$

$$\delta_{06} = 2qr^2\left[(1 - c)\,\varphi_0 \cos\varphi_0 - \left(2 - c + \frac{e}{r}\right)\operatorname{sen}\varphi_0\right]$$

$$\delta_{55} = \operatorname{tg}^2\alpha \left[\frac{1}{3}(2 - c)\,\varphi_0^3 - \frac{1}{2} c\,\varphi_0^2 \operatorname{sen} 2\varphi_0 - \frac{1}{4}(2 - 3c - 2a)(\operatorname{sen} 2\varphi_0 - 2\varphi_0 \cos 2\varphi_0)\right] + \frac{1}{4}(2c - 1 + 3a)(2\varphi_0 - \operatorname{sen} 2\varphi_0)$$

$$\delta_{56} = -\frac{1}{4} \operatorname{tg}\alpha \left[2(1 - c - a)(2\varphi_0 - \operatorname{sen} 2\varphi_0) + c(\operatorname{sen} 2\varphi_0 - 2\varphi_0 \cos 2\varphi_0)\right]$$

$$\delta_{66} = (2 - c)\,\varphi_0 + \frac{1}{2} c \operatorname{sen} 2\varphi_0$$

onde $c = \left(1 - \frac{1}{2}\cos^2\alpha\right)(1 - a)$ e $a = \frac{d^2}{b^2}$

Nas expressões se fizermos $\alpha = 0$ teremos os valores dos esforços solicitantes para o caso de viga balcão circular.

Na revista Estrutura nº 46 são apresentados tabelas que fornecem os esforços (a menos do multiplicador qr para os esforços simples e qr^2 para os momentos) para escadas bi-engastadas com abertura de 90°, 180°, 270° e 360° para diversos valores de a e tg α.

Reproduziremos aqui a tabela referente a peças helicoidais bi-engastadas com abertura de 180°.

FÓRMULAS	REGRAS DE SINAIS
$tg\,\alpha = passo/2\,\pi\,r$	Esforços positivos quando
$a = \frac{J_x}{J_y} = \frac{d^2}{b^2}$	N comprimem
$Ra = Rb = Q_x \cdot \cos\alpha + N \operatorname{sen}\alpha$ (reações)	Q_x para cima
	Q_y para o centro (radial)
d = espessura da peça	M_t gira no mesmo sentido do passo
b = largura da peça	M_x traciona bordo inferior
r = raio do eixo da peça	M_y traciona bordo interno
q = carga por metro linear	

ESFORÇOS SOLICITANTES PARA		
$\varphi = \pi/2$ (pé)	φ = Zero (centro)	$\varphi = -\frac{\pi}{2}$ (topo)
$N = K_1 qr$	N = Zero	$N = -K_1 qr$
$Q_x = K_2 qr$	Q_x = Zero	$Q_x = -K_2 qr$
Q_y = Zero	$Q_y = K_6 qr$	Q_y = Zero
$M_t = K_3 qr^2$	M_t = Zero	$M_t = -K_3 qr^2$
$M_x = K_4 qr^2$	$M_x = K_7 qr^2$	$M_x = K_4 qr^2$
$M_y = K_5 qr^2$	M_y = Zero	$M_y = -K_5 qr^2$

tg α	a	0,005	0,010	0,020	0,040	0,060	0,080	0,100	0,120
Zero		$K_1 = K_5 = K_6 =$ Zero			K_2=1,571	K_3=0,244		K_4 = -1,060	K_7 = -0,267
0,30	K_1	2,000	1,903	1,745	1,511	1,349	1,228	1,136	1,064
	2	1,036	1,065	1,113	1,183	1,232	1,268	1,296	1,318
	3	0,004	0,015	0,037	0,069	0,090	0,107	0,120	0,103
	4	-0,298	-0,345	-0,423	-0,538	-0,618	-0,678	-0,723	-0,759
	5	-1,688	-1,587	-1,421	-1,175	-1,005	-0,878	-0,782	-0,706
	6	-1,618	-1,518	-1,352	-1,108	-0,938	-0,812	-0,715	-0,640
	7	0,020	0,038	0,066	0,105	0,135	0,154	0,170	0,183
0,35	K_1	2,040	1,953	1,813	1,596	1,442	1,328	1,237	1,166
	2	0,950	0,981	1,030	1,106	1,160	1,200	1,231	1,245
	3	-0,034	-0,018	0,003	0,036	0,060	0,077	0,091	0,091
	4	-0,174	-0,225	-0,306	-0,433	-0,523	-0,589	-0,642	-0,684
	5	-1,695	-1,603	-1,453	-1,221	-1,056	-0,934	-0,837	-0,762
	6	-1,610	-1,518	-1,370	-1,140	-0,977	-0,856	-0,760	-0,684
	7	-0,018	-0,002	0,028	0,074	0,105	0,130	0,148	0,162
0,40	K_1	2,047	1,973	1,848	1,653	1,511	1,403	1,316	1,246
	2	0,873	0,902	0,952	1,030	1,087	1,130	1,165	1,193
	3	-0,064	-0,051	-0,030	0,005	0,029	0,044	0,061	0,073
	4	-0,069	-0,119	-0,204	-0,336	-0,432	-0,505	-0,564	0,612
	5	-1,672	-1,592	-1,455	-1,243	-1,088	-0,969	-0,875	-0,798
	6	-1,578	-1,498	-1,363	-1,153	-1,000	-0,884	-0,790	-0,714
	7	-0,050	-0,003	-0,002	0,044	0,080	0,110	0,130	0,147
0,45	K_1	2,032	1,968	1,862	1,690	1,558	1,460	1,378	1,311
	2	0,808	0,837	0,885	0,962	1,022	1,066	1,103	1,133
	3	-0,089	-0,075	-0,054	-0,021	0,077	0,022	0,036	0,050
	4	-0,015	-0,035	-0,118	-0,250	-0,353	-0,429	-0,492	-0,545
	5	-1,628	-1,557	-1,439	-1,247	-1,101	-0,989	-0,897	-0,823
	6	-1,520	-1,450	-1,333	-1,145	-1,000	-0,892	-0,803	-0,729
	7	-0,076	-0,060	-0,030	0,018	0,053	0,085	0,110	0,127
0,50	K_1	2,014	1,960	1,862	1,710	1,589	1,496	1,419	1,361
	2	0,748	0,775	0,824	0,900	0,960	1,007	1,046	1,076
	3	-0,112	-0,101	-0,079	-0,048	-0,019	0,001	0,018	0,029
	4	0,091	-0,044	-0,042	-0,176	-0,282	-0,364	-0,431	-0,482
	5	-1,583	-1,521	-1,410	-1,235	-1,098	-0,972	-0,904	-0,837
	6	-1,465	-1,405	-1,295	-1,125	-0,990	-0,886	-0,800	-0,735
	7	-0,098	-0,080	-0,050	zero	0,035	0,065	0,090	0,110

tg	a	0,005	0,010	0,020	0,040	0,060	0,080	0,100	0,120
Zero		$K_1 = K_5 = K_6 =$ Zero			K_2=1,571	K_3=0,244	K_4= -1,060		K_7 = -0,267
0,55	K_1	1,985	1,938	1,856	1,721	1,614	1,531	1,460	1,401
	2	0,070	0,726	0,772	0,846	0,905	0,950	0,989	1,022
	3	-0,126	-0,114	-0,093	-0,065	-0,039	-0,022	-0,004	0,010
	4	0,151	0,105	0,023	-0,110	-0,215	-0,297	-0,336	-0,425
	5	-1,530	-1,476	-1,380	-1,220	-1,094	-0,996	-0,914	-0,844
	6	-1,402	-1,348	-1,254	-1,100	-0,978	-0,883	-0,803	-0,735
	7	-0,117	-0,101	-0,072	-0,020	0,018	0,050	0,073	0,095
0,60	K_1	1,956	1,915	1,844	1,724	1,629	1,550	1,488	1,439
	2	0,657	0,682	0,724	0,796	0,853	0,901	0,938	0,971
	3	-0,137	-0,125	-0,109	-0,078	-0,057	-0,033	-0,019	-0,006
	4	0,202	0,156	0,079	-0,053	-0,158	-0,244	-0,313	-0,373
	5	-1,479	-1,430	-1,343	-1,199	-1,082	-0,989	-0,913	-0,846
	6	-1,338	-1,290	-1,208	-1,068	-0,957	-0,865	-0,712	-0,728
	7	-0,133	-1,118	-0,088	-0,040	-0,002	0,030	0,057	0,080

9 - Escadas Em Viga Helicoidal

Os degraus são engastados na viga curva helicoidal, suporte da escada.

Para o cálculo da viga podemos usar o seguinte método (G. Prudon em Guerrin - Jroité de Beton Armé, V4).

Sejam:

a) ρ o raio do cilindro

b) A e B as extremidades e os momentos M_0 (flexão) e C_0 (torsão) nêstes pontos

c) h, a altura vertical entre êsses pontos

d) θ, a inclinação da hélice $tg\,\theta = \frac{h}{2\rho\alpha}$

e) α, a metade do ângulo de abertura

f) p, a carga por metro linear de projeção

Em um ponto qualquer definido pelo ângulo x

$$M = p\,\rho^2\,[1 - (1 + K')\cos x]$$

$$C = p\,\rho^2\,[x - (1 + K')\,\text{sen}\,x]\cos\theta$$

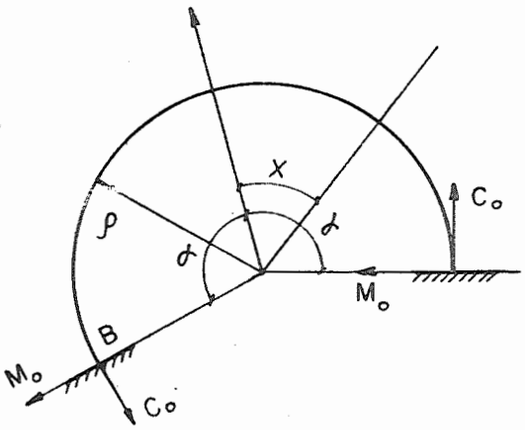


Figura 16-a

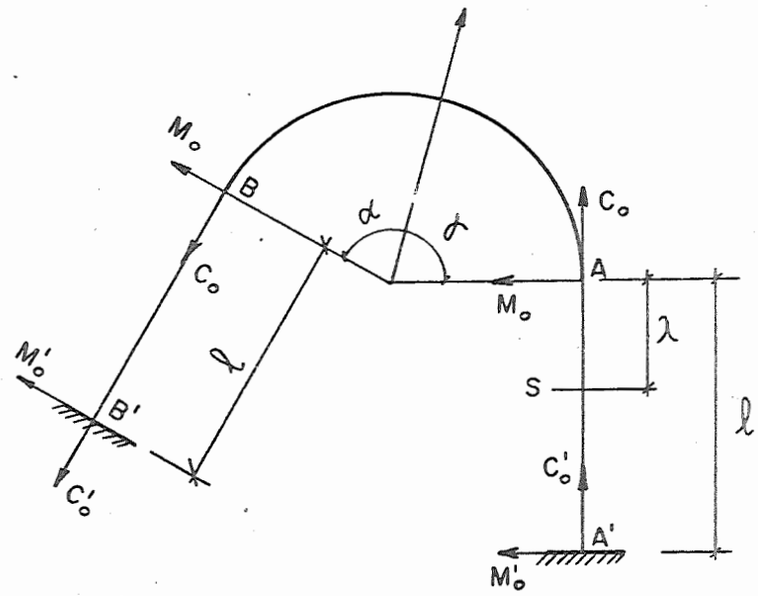


Figura 16-b

onde:

$$1 + K' = \frac{\frac{\operatorname{sen}\alpha}{\alpha} - (2 + tg^2\,\theta) - \cos\alpha}{1 + tg^2\,\frac{\theta}{2}\left[1 + \frac{\operatorname{sen} 2\alpha}{\alpha}\right]}$$

Nas escadas em que as vigas se prolongam por trechos retos de mesma inclinação θ os esforços no ponto S, serão (Figura 16-b)

$$M = M_0 + p\,\rho\,\alpha\,\lambda + p\,\frac{\lambda^2}{2}$$

$$C = C_0$$

$$1 = K' = \frac{\frac{\operatorname{sen}\alpha}{\alpha}(2 + tg^2\,\theta) - \cos\alpha + \frac{\ell}{\rho}\operatorname{sen}\alpha + \frac{\cos\alpha}{\alpha\cos^2\theta}\left(\frac{\ell}{\rho} + \frac{\alpha\,\ell^2}{2\,\rho^2} + \frac{\ell^3}{6\,\rho^3}\right)}{1 + tg^2\,\frac{\theta}{2}\left(1 + \frac{\operatorname{sen}^2\alpha}{2\alpha}\right) + \frac{\ell}{\rho\alpha}\left(\frac{\cos^2\alpha}{\cos^2\theta} + \operatorname{sen}^2\alpha\right)}$$

Para $\theta = 0$, temos a viga balcão circular cujo cálculo pode servir como primeira aproximação para a viga curva helicoidal.

A seguinte tabela, de autoria do Prof.A.Polillo, fornece os momentos M_f (gletor) e M_t (torsor) para o cálculo de Vigas Balcão.

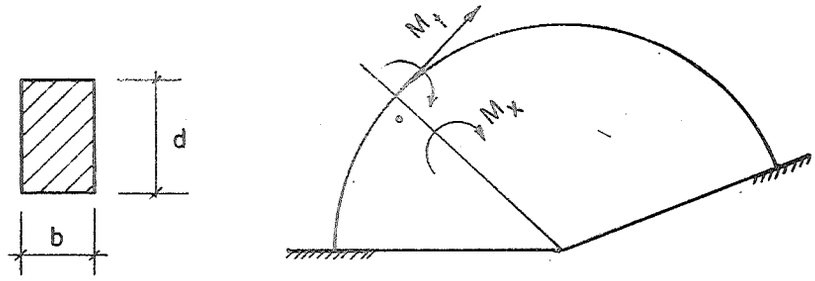
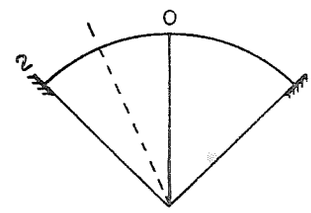


Figura 17

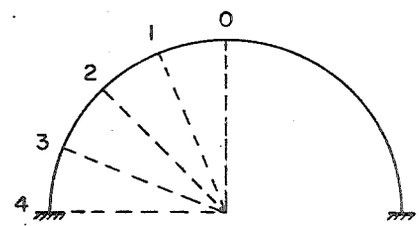
$\rho = \frac{d}{b}$; $M_x = K_1 qr^2$ $M_t = k_2 qr^2$

	Valores de k_1 e k_2 para ρ =				
Pontos	10	1,5	2,0	2,5	3,0
0	0,091 0	0,088 0	0,084 0	0,081 0	0,078 0
1	0,008 0,025	0,005 0,022	0,002 0,022	-0,001 0,021	-0,004 0,020
2	-0,228 -0,013	-0,231 -0,016	-0,233 -0,018	-0,236 -0,021	-0,238 -0,023



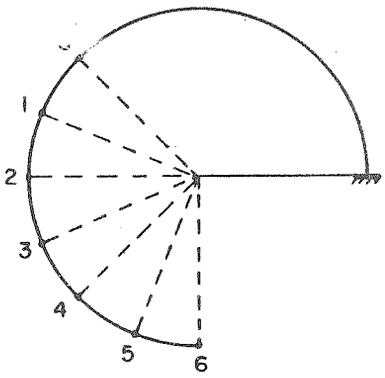
Caso A (1/4 de volta)

	Valores de k_1 e k_2 (ρ qualquer)				
Pontos	0	1	2	3	4
k_1	0,273	0,176	-0,100	-0,513	-1
k_2	0	0,094	0,115	-0,002	-0,298



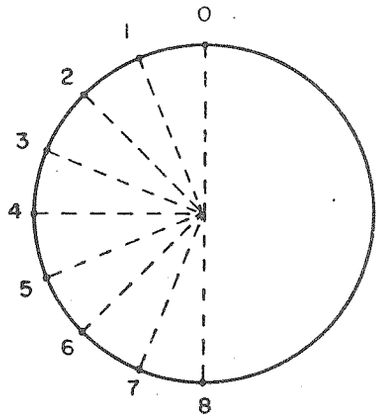
Caso B (1/2 volta)

Pontos	Valores de k_1 e k_2 para ρ =				
	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
0	0,376 0	0,460 0	0,518 0	0,557 0	0,582 0
1	0,271 0,133	0,349 0,166	0,403 0,188	0,438 0,203	0,462 0,213
2	-0,027 0,187	0,032 0,247	0,073 0,238	0,100 0,315	0,119 0,334
3	-0,474 0,093	-0,441 0,170	-0,419 0,225	-0,404 0,206	-0,394 0,284
4	-1,0 -0,195	-1,0 -0,111	-1,0 -0,053	-1,0 -0,014	-1,0 +0,012
5	-1,526 -0,692	-1,559 -0,615	-1,581 -0,561	-1,596 -0,525	-1,606 -0,501
6	-1,973 -1,383	-2,032 -1,324	-2,073 -1,283	-2,101 -1,255	-2,119 -1,237



Caso C (3/4 de volta)

Pontos	Valores de k_1 e k_2 para ρ =				
	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
0	-2,165 0	-2,384 0	-2,548 0	-2,663 0	-2,742 0
1	-2,076 -0,838	-2,279 -0,922	-2,430 -0,985	-2,536 -1,029	-2,609 -1,059
2	-1,823 -1,609	-1,979 -1,707	-2,095 -1,770	-2,176 -1,961	-2,231 -2,017
3	-1,446 -2,254	-1,530 -2,457	-1,592 -2,609	-1,636 -2,714	-1,666 -2,787
4	-1,000 -2,735	-1,000 -2,955	-1,000 -3,119	-1,000 -3,233	-1,000 -3,312
5	-0,554 -3,039	-0,470 -3,242	-0,408 -3,394	-0,364 -3,580	-0,333 -3,572
6	-0,176 -3,180	-0,021 -3,335	+0,095 -3,450	+0,176 -3,532	+0,231 -3,587
7	+0,076 -3,195	+0,279 +3,279	+0,430 -3,341	+0,536 -3,385	+0,609 -3,416
8	+0,164 -3,142	+0,384 -3,142	+0,548 -3,142	+0,663 -3,142	+0,742 -3,142



Caso D (1 volta)