UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

ESCOLA DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ESTRUTURAS

CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS

FLECHAS PARA DIFERENTES MESAS COLABORANTES NUMA LAJE NERVURADA

AUTORA: SANDRA CRISTINA DE SOUSA

PROF. ORIENTADOR: NEY AMORIM SILVA

2015

INDICE

1 – INTRODUÇAO

A IDEIA DE ESCOLHER O TEMA SURGIU DEVIDO A GRANDE UTILIZAÇÃO DE LAJES NERVURADAS NA ATUALIDADE.
COM ESSE TRABALHO APRESENTAMOS 7 ESTUDOS PARA AJUDAR NA ESCOLHA DA ALTURA DA LAJE QUE MELHOR ATENDE A FLECHA.

2 – OBJETIVO

ESTE TRABALHO VISA DEMONSTRAR AS DEFORMAÇÕES PARA UMA LAJE NERVURADA ARMADA NUMA SÓ DIREÇÃO, COM DIFERENTES MESAS E COM VIGAS FAIXAS.

3 – DESENVOLVIMENTO – CALCULO MANUAL:

DADOS:

DIMENSOES DA LAJE: 800x3500 cm , VER PLANTA.

EDIFICIO COMERCIAL $\Psi_2 = 0,4$ CARGAS ACIDENTAIS

$f_{ck} = 30,0$ MPa

E_{cs} = MODULO DE ELASTICIDADE SECANTE DO CONCRETO

$E_{cs} = @_i E_{ci}$

$@_i = 0,8+0,2 \frac{fck}{80} <=1,0$

$@_i = 0,8+0,2 \frac{30}{80} <=1,0$

$0,87 <=1,0$

NBR:6118
ITENS:8.2.8

$E_{ci} = @_E \, 5600 \sqrt{fck}$ p/ fck<=50 MPa

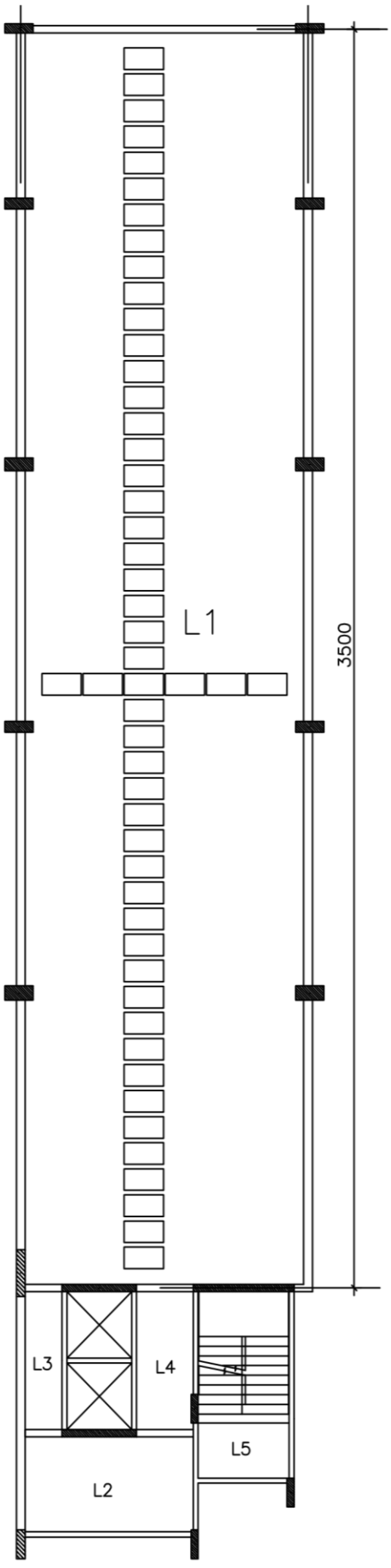
$E_{ci} = 1,0x5600 \sqrt{30}$

$E_{ci} = 30672$ MPa

$E_{cs} = 0,87x30672 = 26685MPa = 2668$ KN/m2

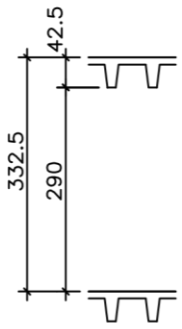
$fc = 0,85 \frac{fck}{1,4} = 0,85 \frac{30}{1,4} = 18,21$ MPa

fc = 1,821 KN/cm2



LAJE TIPO
MOLDE ATEX 600U

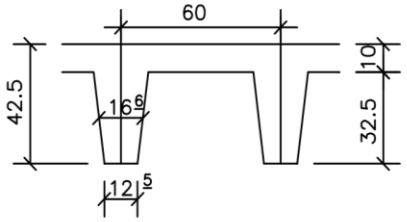
ELEVAÇÃO



3 – DESENVOLVIMENTO

1a. SOLUÇÃO

FORMA ATEX 600U – ALTURA DA FORMA = 32,5 cm
ESPESSURA DA MESA = 10 cm



p.p.	5,23 KN/m2
REV	1,00 KN/m2
PAREDES	1,30 KN/m2
g =	7,53 KN/m2
q =	2,00 KN/m2
g+q =	9,53 KN/m2

ALTURA UTIL:
d = 42,5–4 = 38,5cm
VAO l = 800 cm

MOMENTO:

$$Mg = \frac{7,53 \times 8,00^2}{8} = 60,24 \text{ KNm} = 6024 \text{ KNcm}$$

$$Mq = \frac{2 \times 8,00^2}{8} = 16,00 \text{ KNm} = 1600 \text{ KNcm}$$

M = Mg + Mq = 6024 + 1600 = 7624 KNcm

Md = 1,4 x 7624 = 10674 KNcm

$$MR = fc.bf.hf \left(d - \frac{hf}{2}\right)$$

$$MR = 1,821 \times 60 \times 10 \left(38,5 - \frac{10}{2}\right) = 36602 \text{ KNcm}$$

COMO MR > Md LINHA NEUTRA NA MESA
USAR FORMULAS DE FLEXÃO SIMPLES COM BASE bf=60cm

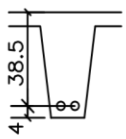
$$K = \frac{Md}{fc\ bf\ d^2} = \frac{10674}{1,821 \times 60 \times 38,5^2} = 0,07 < KL = 0,295$$

LOGO K'= K

$$As = \frac{1,821 \times 60 \times 38,5}{43,50} \left(1 - \sqrt{1 - 2(0,07)}\right) = 7,02 \text{ cm2}$$

2 ø 25mm

$As_{adot} = 9,82$ cm2



Asmin= 0,15% x 1138cm2 = 1,71 cm2
Tab.17.3 NBR 6118
POREM As > Asmin

MOMENTO DE SERVIÇO:

$$M_{d,serv} = M_{gk} + \Sigma \Psi_2 M_{qi,k}$$

$$M_{d,serv} = 60,24 + 0,4(16,00) = 66,64 \text{ KNm} = 6664 \text{ KNcm}$$

MOMENTO DE FISSURAÇÃO:

$$M_r = @ f_{ct} \frac{Ic}{y_t}$$

@ = 1,2 PARA SEÇÕES T

Ic = 164000 cm4 (CATALOGO ATEX)

y_t = 28,1cm (CATALOGO ATEX)

$f_{ct} = f_{ct,m} = 0,3(fck)^{2/3} = 2,93 \text{ MPa} = 0,293 \text{ KN/cm2}$

$$M_r = 1,2(0,293) \quad \frac{164000}{28,1} = 2052 \text{ KNcm}$$

COMO

$M_{d,serv} > Mr$ ESTADIO II, SEÇÃO FISSURADA EI_{eq}

6664 KNcm > 2052 KNcm

$$\frac{Mr}{M_{d,serv}} = 0,31 < 0,5 \quad \text{ADOTAR} \quad EI_{eq} = EI_{II}$$

$E_{cs} = 2668$ KN/m2

$$n = \frac{Es}{E_{cs}} = \frac{21000}{2668} = 7,87 \qquad As' = 0$$

$$A = \frac{1}{bw_{med}} \left[n.As + \cancel{n'As'}^{0} + \left(bf - bw_{med} \right) hf \right]$$

$$A = \frac{1}{16,6} \left[7,87x9,82 + \left(60 - 16,6 \right) 10 \right] = 30,8$$

$$B = \frac{2}{bw_{med}} \left[n.d.As + \cancel{n' d' As'}^{0} + \left(bf - bw_{med} \right) \frac{hf^2}{2} \right]$$

$$B = \frac{2}{16,6} \left[7,87x38,5x9,82 + \left(60 - 16,6 \right) \frac{10^2}{2} \right] = 489$$

$$X_{II} = -A + \sqrt{A^2 + B} = -30,8 + \sqrt{30,8^2 + 489} = 7,12 \text{ cm}$$

$$I_{II} = \frac{1}{3}\left[bf\ X_{II}^{3} - (bf-bw)\ (X_{II}-hf)^{3}\right] + n.As\ (d-X_{II})^{2} + \cancel{n'As'\ (X_{II}-d')^{2}}^{\,0}$$

$$I_{II} = \frac{1}{3}\left[60x7{,}12^{3} - (60-16{,}6)\ (7{,}12-10)^{3}\right] + 7{,}87x9{,}82\ (38{,}5-7{,}12)^{2}$$

$I_{II} = 83666\ cm4$

COMO $\frac{Mr}{M_{d,serv}} = 0{,}31 < 0{,}5$ ADOTA-SE $EI_{eq} = EI_{II}$

INERCIA DA SEÇÃO FISSURADA

$EI_{ef} = E_{cs}\ I_{II}$

$EI_{ef} = 2668x83666 = 223\ 220\ 888\ KNcm2$

FLECHA IMEDIATA

$p_i = 7{,}53+0{,}4(2)=8{,}33\ KN/m = 0{,}0833KN/cm$

$$f_i = \frac{5\,p_i\,l^{4}}{384EI} = \frac{5x0{,}0833x800^{4}}{384\ x\ 223220888} = 1{,}99\ cm$$

FLECHA NO TEMPO INFINITO

$p_\infty = 2{,}46g + \Psi_2\ 2{,}46q$

$p_\infty = 2{,}46g + 0{,}4x2{,}46q$

$p_\infty = 2{,}46(7{,}53)+0{,}4x2{,}46(2{,}00)= 20{,}49KNm = 0{,}20\ KNcm$

$$f_\infty = \frac{5p_\infty\,l^{4}}{384EI} = \frac{5x0{,}20x800^{4}}{384\ x\ 223220888} = 4{,}78\ cm$$

CONTROLE DA DEFORMAÇÃO

$$f_{adm} = \frac{800}{250} = 3{,}20\ cm$$

$f_\infty > f_{adm}$ APLICAR CONTRA FLECHA

LIMITE DA CONTRA-FLECHA

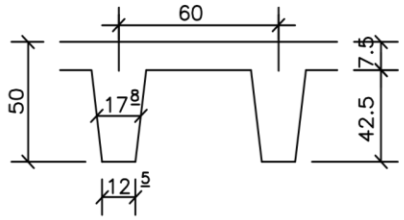
$$\frac{l}{350} = \frac{800}{350} = 2{,}28\ CM$$ ADOTAR 2 cm

FLECHA TEMPO INFINITO FINAL

$f_{\infty\,final} = 4{,}78 - 2 = 2{,}78\ cm < f_{adm} = 3{,}20\ cm$ OK!

2a. SOLUÇÃO

FORMA ATEX 600U – ALTURA DA FORMA = 42,5 cm
ESPESSURA DA MESA = 7,5 cm



p.p.	5,73 KN/m2
REV	1,00 KN/m2
PAREDES	1,30 KN/m2
g =	8,03 KN/m2
q =	2,00 KN/m2
g+q =	10,03 KN/m2

ALTURA UTIL:

d = 50−4 = 46cm

VAO l = 800 cm

MOMENTO:

$$Mg = \frac{8,03 \times 8,00^2}{8} = 60,24 \text{ KNm} = 6024 \text{ KNcm}$$

$$Mq = \frac{2 \times 8,00^2}{8} = 16,00 \text{ KNm} = 1600 \text{ KNcm}$$

M= Mg + Mq

M= 6024+1600 = 7624 KNcm

Md = 1,4 x 7624 = 10674 KNcm

$$MR = fc.bf.hf \left(d - \frac{hf}{2} \right)$$

$$MR = 1,821 \times 60 \times 7.5 \left(46 - \frac{7.5}{2} \right) = 34622 \text{ KNcm}$$

COMO MR > Md LINHA NEUTRA NA MESA
USAR FORMULAS DE FLEXÃO SIMPLES COM BASE bf=60cm

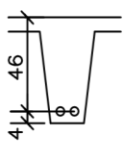
$$K = \frac{Md}{fc\ bf\ d^2} = \frac{10674}{1,821 \times 60 \times 46^2} = 0,05 < KL=0,295$$

LOGO K'= K

$$As = \frac{1,821 \times 60 \times 46}{43,50} \left(1 - \sqrt{1 - 2(0,05)} \right) = 5,93 \text{ cm2}$$

2 ø 20mm

$As_{adot} = 6,28$ cm2



Asmin= 0,15% x 1207cm2 = 1,81 cm2

Tab.17.3 NBR 6118

POREM As > Asmin

MOMENTO DE SERVIÇO:

$M_{d,serv} = M_{gk} + \Sigma \Psi_2 M_{qi,k}$

$M_{d,serv} = 60,24 + 0,4(16,00) = 66,64 \text{ KNm} = 6664 \text{ KNcm}$

MOMENTO DE FISSURAÇÃO:

$@ = 1,2$ PARA SEÇÕES T

$M_r = @ f_{ct} \frac{Ic}{y_t}$

$Ic = 249191 \text{ cm4}$ (CATALOGO ATEX)

$y_t = 31,9\text{cm}$ (CATALOGO ATEX)

$f_{ct} = f_{ct,m} = 0,3(fck)^{2/3} = 2,93 \text{ MPa} = 0,293 \text{ KN/cm2}$

$M_r = 1,2(0,293) \quad \frac{249191}{31,9} = 2747 \text{ KNcm}$

COMO

$M_{d,serv} > Mr$ ESTADIO II, SEÇÃO FISSURADA EI_{eq}

$6664 \text{ KNcm} > 2747 \text{ KNcm}$

$\frac{Mr}{M_{d,serv}} = 0,41 < 0,5$ ADOTAR $EI_{eq} = EI_{II}$

$E_{cs} = 2668 \text{ KN/m2}$

$n = \frac{Es}{E_{cs}} = \frac{21000}{2668} = 7,87 \qquad As' = 0$

$A = \frac{1}{bw_{med}} \left[n.As + \cancel{n'As'}^{0} + \left(bf - bw_{med} \right) hf \right]$

$A = \frac{1}{17,8} \left[7,87x6,28 + \left(60 - 17,8 \right) 7,5 \right] = 20,6$

$B = \frac{2}{bw_{med}} \left[n.d.As + \cancel{n'd'As'}^{0} + \left(bf - bw_{med} \right) \frac{hf^2}{2} \right]$

$B = \frac{2}{17,8} \left[7,87x46x6,28 + \left(60 - 17,8 \right) \frac{7,5^2}{2} \right] = 348$

$X_{II} = -A + \sqrt{A^2 + B} = -20,6 + \sqrt{20,6^2 + 348} = 7,19 \text{ cm}$

$$I_{II} = \frac{1}{3}\left[bf\ X_{II}^{3} - (bf-bw)\ (X_{II}-hf)^{3}\right] + n.As\ (d-X_{II})^{2} + n'As'\ (X_{II}-d')^{2}$$

$$I_{II} = \frac{1}{3}\left[60x7{,}19^{3} - (60-17{,}8)\ (7{,}19-7{,}5)^{3}\right] + 7{,}87x6{,}28\ (46-7{,}19)^{2}$$

I_{II} = 81883 cm4

COMO $\frac{Mr}{M_{d,serv}}$ =0,41 < 0,5 ADOTA-SE $EI_{eq} = EI_{II}$

INERCIA DA SEÇÃO FISSURADA

$EI_{ef} = E_{cs}\ I_{II}$

EI_{ef} = 2668x81883 = 218 463 844 KNcm2

FLECHA IMEDIATA

p_i = 8,03+0,4(2)=8,83 KN/m = 0,0883KN/cm

$$f_i = \frac{5\,p_i\,l^{4}}{384EI} = \frac{5x0{,}0833x800^{4}}{384\ x\ 218463844} = 2{,}03\ cm$$

FLECHA NO TEMPO INFINITO

p_∞ = 2,46g + Ψ_2 2,46q

p_∞ = 2,46g +0,4x2,46q

p_∞ = 2,46(8,03)+0,4x2,46(2,00)= 21,72KNm = 0,22 KNcm

$$f_\infty = \frac{5p_\infty\,l^{4}}{384EI} = \frac{5x0{,}22x800^{4}}{384\ x\ 218463844} = 5{,}37\ cm$$

CONTROLE DA DEFORMAÇÃO

$$f_{adm} = \frac{800}{250} = 3{,}20\ cm$$

$f_\infty > f_{adm}$ APLICAR CONTRA FLECHA

LIMITE DA CONTRA-FLECHA

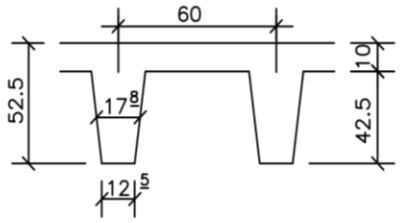
$$\frac{l}{350} = \frac{800}{350} = 2{,}28\ CM$$ ADOTAR 2 cm

FLECHA TEMPO INFINITO FINAL

$f_{\infty\,final}$ = 5,37 − 2,00 = 3,37 cm > f_{adm} = 3,20 cm NÃO ATENDE!

3a. SOLUÇÃO

FORMA ATEX 600U – ALTURA DA FORMA = 42,5 cm
ESPESSURA DA MESA = 10 cm



p.p.	6,35 KN/m2
REV	1,00 KN/m2
PAREDES	1,30 KN/m2
g =	8,65 KN/m2
q =	2,00 KN/m2
g+q =	10,65 KN/m2

ALTURA UTIL:

d = 52,5–4 = 48,5cm

VAO l = 800 cm

MOMENTO:

$$Mg = \frac{8,65 \times 8,00^2}{8} = 69,2 \text{ KNm} = 6920 \text{ KNcm}$$

$$Mq = \frac{2 \times 8,00^2}{8} = 16,00 \text{ KNm} = 1600 \text{ KNcm}$$

M= Mg + Mq

M= 6920+1600 = 8520 KNcm

Md = 1,4 x 8520 = 11928 KNcm

$$MR = fc.bf.hf \left(d - \frac{hf}{2}\right)$$

$$MR = 1,821 \times 60 \times 10 \left(48,5 - \frac{10}{2}\right) = 47528 \text{ KNcm}$$

COMO MR > Md LINHA NEUTRA NA MESA
USAR FORMULAS DE FLEXÃO SIMPLES COM BASE bf=60cm

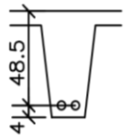
$$K = \frac{Md}{fc\ bf\ d^2} = \frac{11928}{1,821 \times 60 \times 48,5^2} = 0,05 < KL=0,295$$

LOGO K'= K

$$As = \frac{1,821 \times 60 \times 48,5}{43,50}\left(1 - \sqrt{1 - 2(0,05)}\right) = 6,25 \text{ cm2}$$

2 ø 20mm

$As_{adot} = 6,28$ cm2



Asmin= 0,15% x 1357cm2 = 2,03 cm2

Tab.17.3 NBR 6118

POREM As > Asmin

MOMENTO DE SERVIÇO:

$M_{d,serv} = M_{gk} + \Sigma \Psi_2 M_{qi,k}$

$M_{d,serv} = 69,20 + 0,4(16,00) = 75,6 \text{ KNm} = 7560 \text{ KNcm}$

MOMENTO DE FISSURAÇÃO:

$M_r = @ f_{ct} \frac{Ic}{y_t}$

@ = 1,2 PARA SEÇÕES T

Ic = 299250 cm4 (CATALOGO ATEX)

y_t = 34 cm (CATALOGO ATEX)

$f_{ct} = f_{ct,m} = 0,3(fck)^{2/3} = 2,93 \text{ MPa} = 0,293 \text{ KN/cm2}$

$M_r = 1,2(0,293) \quad \frac{299250}{34} = 3095 \text{ KNcm}$

COMO

$M_{d,serv} > Mr$ ESTADIO II, SEÇÃO FISSURADA EI_{eq}

7560 KNcm > 3095 KNcm

$\frac{Mr}{M_{d,serv}} = 0,41 < 0,5$ ADOTAR $EI_{eq} = EI_{II}$

$E_{cs} = 2668 \text{ KN/m2}$

$n = \frac{Es}{E_{cs}} = \frac{21000}{2668} = 7,87 \qquad As' = 0$

$A = \frac{1}{bw_{med}} \left[n.As + \cancel{n'As'}^{0} + \left(bf - bw_{med} \right) hf \right]$

$A = \frac{1}{17,8} \left[7,87x6,28 + \left(60-17,8 \right) 10 \right] = 26,5$

$B = \frac{2}{bw_{med}} \left[n.d.As + \cancel{n' d' As'}^{0} + \left(bf - bw_{med} \right) \frac{hf^2}{2} \right]$

$B = \frac{2}{17,8} \left[7,87x48,5x6,28 + \left(60 - 17,8 \right) \frac{10^2}{2} \right] = 388$

$X_{II} = -A + \sqrt{A^2 + B} = -26,5 + \sqrt{26,5^2 + 388} = 6,52 \text{ cm}$

$$I_{II} = \frac{1}{3}\left[bf\ X_{II}^{3} - (bf-bw)\ (X_{II}-hf)^{3}\right] + n.As\ (d-X_{II})^{2} + \cancel{n'As'\ (X_{II}-d')^{2}}^{\,0}$$

$$I_{II} = \frac{1}{3}\left[60x6,52^{3} - (60-17,8)\ (6,52-10)^{3}\right] + 7,87x6,28\ (48,5-6,52)^{2}$$

$I_{II} = 93236\ cm4$

COMO $\frac{Mr}{M_{d,serv}} = 0,41 < 0,5$ ADOTA-SE $EI_{eq} = EI_{II}$

INERCIA DA SEÇÃO FISSURADA

$EI_{ef} = E_{cs}\ I_{II}$

$EI_{ef} = 2668x93236 = 248\ 753\ 648\ KNcm2$

FLECHA IMEDIATA

$p_i = 8,65+0,4(2)=9,45\ KN/m = 0,0945\ KN/cm$

$$f_i = \frac{5\,p_i\,l^{4}}{384EI} = \frac{5x0,0945x800^{4}}{384\ x\ 248753648} = 2,03\ cm$$

FLECHA NO TEMPO INFINITO

$p_\infty = 2,46g + \Psi_2\ 2,46q$

$p_\infty = 2,46g + 0,4x2,46q$

$p_\infty = 2,46(8,65)+0,4x2,46(2,00)= 23,25KNm = 0,23\ KNcm$

$$f_\infty = \frac{5p_\infty\,l^{4}}{384EI} = \frac{5x0,23x800^{4}}{384\ x\ 248753648} = 4,93\ cm$$

CONTROLE DA DEFORMAÇÃO

$$f_{adm} = \frac{800}{250} = 3,20\ cm$$

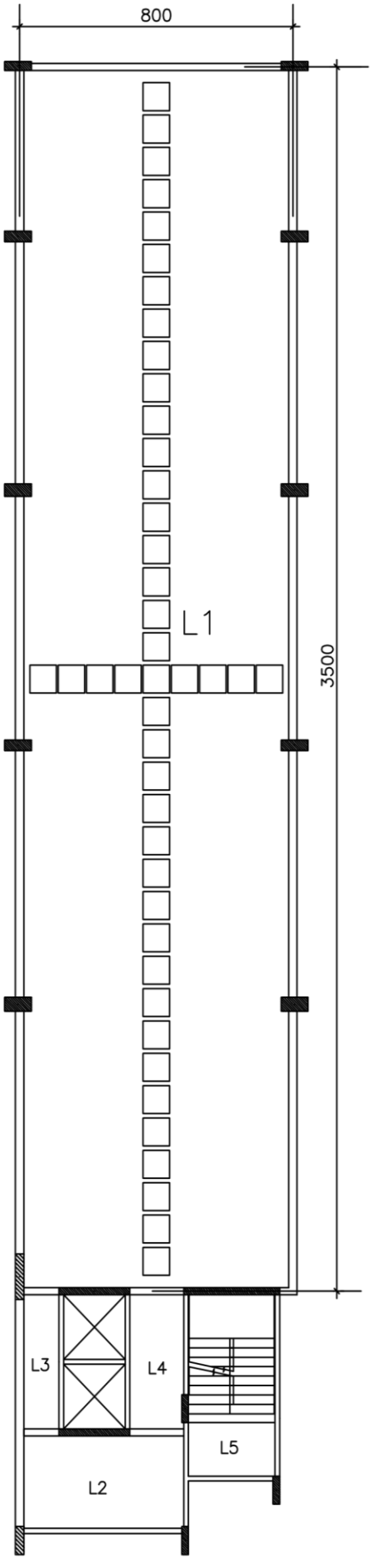
$f_\infty > f_{adm}$ APLICAR CONTRA FLECHA

LIMITE DA CONTRA-FLECHA

$$\frac{l}{350} = \frac{800}{350} = 2,28\ CM$$ ADOTAR 2 cm

FLECHA TEMPO INFINITO FINAL

$f_{\infty\,final} = 4,93 - 2,00 = 2,93\ cm < f_{adm} = 3,20\ cm$ OK!

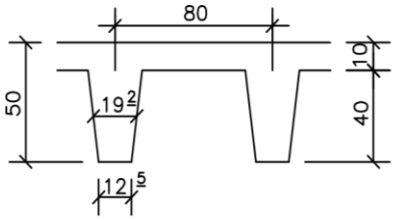


LAJE TIPO
MOLDE ATEX 800U

ELEVAÇÃO

4a. SOLUÇÃO

FORMA ATEX 800U – ALTURA DA FORMA = 40 cm
ESPESSURA DA MESA = 10 cm



p.p.	4,90 KN/m2
REV	1,00 KN/m2
PAREDES	1,30 KN/m2
g =	7,20 KN/m2
q =	2,00 KN/m2
g+q =	9,20 KN/m2

ALTURA UTIL:
d = 50−4 = 46 cm
VAO l = 800 cm

MOMENTO:

$$Mg = \frac{7,20 \times 8,00^2}{8} = 57,60 \text{ KNm} = 5760 \text{ KNcm}$$

$$Mq = \frac{2 \times 8,00^2}{8} = 16,00 \text{ KNm} = 1600 \text{ KNcm}$$

M= Mg + Mq
M= 5760+1600= 7360 KNcm

Md = 1,4 x 7360 = 10304 KNcm

$$MR = fc.bf.hf \left(d - \frac{hf}{2}\right)$$

$$MR = 1,821x80x10 \left(46 - \frac{10}{2}\right) = 59729 \text{ KNcm}$$

COMO MR > Md LINHA NEUTRA NA MESA
USAR FORMULAS DE FLEXÃO SIMPLES COM BASE bf=80cm

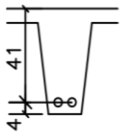
$$K = \frac{Md}{fc\ bf\ d^2} = \frac{10304}{1,821x80x46^2} = 0,03 < KL=0,295$$

LOGO K'= K

$$As = \frac{1,821x80x46}{43,50}\left(1 - \sqrt{1 - 2(0,03)}\right) = 4,62 \text{ cm2}$$

2 ø 20mm

As_{adot} = 6,28 cm2



Asmin= 0,15% x 1566cm2 = 2,35 cm2
Tab.17.3 NBR 6118
POREM As > Asmin

MOMENTO DE SERVIÇO:

$M_{d,serv} = M_{gk} + \Sigma \Psi_2 M_{qi,k}$

$M_{d,serv} = 57,60 + 0,4(16,00) = 64 \text{ KNm} = 6400 \text{ KNcm}$

MOMENTO DE FISSURAÇÃO:

$M_r = @ f_{ct} \frac{Ic}{y_t}$

@ = 1,2 PARA SEÇÕES T

Ic = 306124 cm4 (CATALOGO ATEX)

y_t = 33,9 cm (CATALOGO ATEX)

$f_{ct} = f_{ct,m} = 0,3(fck)^{2/3} = 2,93 \text{ MPa} = 0,293 \text{ KN/cm2}$

$M_r = 1,2(0,293) \frac{306124}{33,9} = 3175 \text{ KNcm}$

COMO

$M_{d,serv} > Mr$ ESTADIO II, SEÇÃO FISSURADA EI_{eq}

6400 KNcm > 3175 KNcm

CALCULO DA FLECHA:

$\frac{Mr}{M_{d,serv}} = 0,5 = 0,5$ ADOTAR $EI_{eq} = EI_{II}$

$E_{cs} = 2668 \text{ KN/m2}$

$n = \frac{Es}{E_{cs}} = \frac{21000}{2668} = 7,87$ $As' = 0$

$A = \frac{1}{bw_{med}} \left[n.As + \cancel{n' As'}^{0} + \left(bf - bw_{med} \right) hf \right]$

$A = \frac{1}{19,2} \left[7,87x6,28 + \left(80 - 19,2 \right) 10 \right] = 34,24$

$B = \frac{2}{bw_{med}} \left[n.d.As + \cancel{n' d' As'}^{0} + \left(bf - bw_{med} \right) \frac{hf^2}{2} \right]$

$B = \frac{2}{19,2} \left[7,87x46x6,28 + \left(80 - 19,2 \right) \frac{10^2}{2} \right] = 395$

$X_{II} = -A + \sqrt{A^2 + B} = -34,24 + \sqrt{34,24^2 + 395} = 5,35 \text{ cm}$

$$I_{II} = \frac{1}{3}\left[bf\ X_{II}^{3} - (bf-bw)\ (X_{II}-hf)^{3}\right] + n.As\ (d-X_{II})^{2} + \cancel{n'As'\ (X_{II}-d')^{2}}^{\ 0}$$

$$I_{II} = \frac{1}{3}\left[80 \times 5{,}35^{3} - (80-19{,}2)\ (5{,}35-10)^{3}\right] + 7{,}87x6{,}28\ (46-5{,}35)^{2}$$

$$I_{II} = 88427\ cm4$$

COMO $\frac{Mr}{M_{d,serv}} = 0{,}5$ ADOTA-SE $EI_{eq} = EI_{II}$

INERCIA DA SEÇÃO FISSURADA

$EI_{ef} = E_{cs}\ I_{II}$

$EI_{ef} = 2668x88427 = 235\ 923\ 236\ KNcm2$

FLECHA IMEDIATA

$p_i = 7{,}20+0{,}4(2)=8{,}00\ KN/m = 0{,}08\ KN/cm$

$$f_i = \frac{5\,p_i\,l^{4}}{384EI} = \frac{5x0{,}08x800^{4}}{384 \times 235923236} = 1{,}81\ cm$$

FLECHA NO TEMPO INFINITO

$p_\infty = 2{,}46g + \Psi_2\ 2{,}46q$

$p_\infty = 2{,}46g + 0{,}4x2{,}46q$

$p_\infty = 2{,}46(7{,}20)+0{,}4x2{,}46(2{,}00)= 19{,}68\ KNm = 0{,}1968\ KNcm$

$$f_\infty = \frac{5p_\infty\,l^{4}}{384EI} = \frac{5x0{,}1968x800^{4}}{384 \times 235923236} = 4{,}45\ cm$$

CONTROLE DA DEFORMAÇÃO

$$f_{adm} = \frac{800}{250} = 3{,}20\ cm$$

$f_\infty > f_{adm}$ APLICAR CONTRA FLECHA

LIMITE DA CONTRA-FLECHA

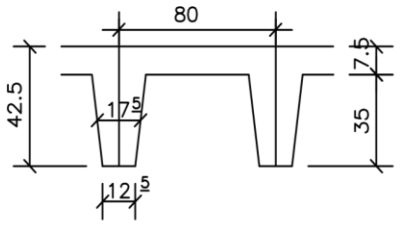
$$\frac{l}{350} = \frac{800}{350} = 2{,}28\ cm$$

FLECHA TEMPO INFINITO FINAL

$f_{\infty\,final} = 4{,}45 - 2{,}00 = 2{,}45\ cm < f_{adm} = 3{,}20\ cm$ OK!

5a. SOLUÇÃO

FORMA ATEX 800U – ALTURA DA FORMA = 35 cm
ESPESSURA DA MESA = 7,5 cm



p.p.		3,80 KN/m2
REV		1,00 KN/m2
PAREDES		1,30 KN/m2
	g =	6,10 KN/m2
	q =	2,00 KN/m2
	g+q =	8,10 KN/m2

ALTURA UTIL:

d = 42,5–4 = 38,5cm
VAO l = 800 cm

MOMENTO:

$$Mg = \frac{6,10 \times 8,00^2}{8} = 48,8 \text{ KNm} = 4880 \text{ KNcm}$$

$$Mq = \frac{2 \times 8,00^2}{8} = 16,00 \text{ KNm} = 1600 \text{ KNcm}$$

M= Mg + Mq
M= 4880+1600= 6480 KNcm

Md = 1,4 x 6480 = 9072 KNcm

$$MR = fc.bf.hf \left(d - \frac{hf}{2}\right)$$

$$MR = 1,821 \times 80 \times 7.5 \left(38,5 - \frac{7.5}{2}\right) = 37968 \text{ KNcm}$$

COMO MR > Md LINHA NEUTRA NA MESA
USAR FORMULAS DE FLEXÃO SIMPLES COM BASE bf=80cm

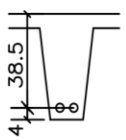
$$K = \frac{Md}{fc\ bf\ d^2} = \frac{9072}{1,821 \times 80 \times 38,5^2} = 0,04 < KL=0,295$$

LOGO K'= K

$$As = \frac{1,821 \times 80 \times 38,5}{43,50}\left(1 - \sqrt{1 - 2(0,04)}\right) = 5,26 \text{ cm2}$$

2 ø 20mm

As_{adot} = 6,28 cm2



Asmin= 0,15% x 1213cm2 = 1,82 cm2
Tab.17.3 NBR 6118
POREM As > Asmin

MOMENTO DE SERVIÇO:

$M_{d,serv} = M_{gk} + \Sigma \Psi_2 M_{qi,k}$

$M_{d,serv} = 48,8 + 0,4(16,00) = 55,2\ KNm = 5520\ KNcm$

MOMENTO DE FISSURAÇÃO:

$M_r = @\ f_{ct}\ \frac{Ic}{y_t}$

@ = 1,2 PARA SEÇÕES T

Ic = 179875 cm4 (CATALOGO ATEX)

y_t = 28,9cm (CATALOGO ATEX)

$f_{ct} = f_{ct,m} = 0,3(fck)^{2/3} = 2,93\ MPa = 0,293\ KN/cm2$

$M_r = 1,2(0,293)\ \frac{179875}{28,9} = 2188\ KNcm$

COMO

$M_{d,serv} > Mr$ ESTADIO II, SEÇÃO FISSURADA EI_{eq}

5520 KNcm > 2188 KNcm

CALCULO DA FLECHA:

$\frac{Mr}{M_{d,serv}} = 0,40 < 0,5$ ADOTAR $EI_{eq} = EI_{II}$

$E_{cs} = 2668\ KN/m2$

$n = \frac{Es}{E_{cs}} = \frac{21000}{2668} = 7,87$ $\quad As' = 0$

$A = \frac{1}{bw_{med}} \left[n.As + \cancel{n'As'}^{0} + \left(bf - bw_{med} \right) hf \right]$

$A = \frac{1}{17,5} \left[7,87x6,28 + \left(80-17,5 \right) 7,5 \right] = 29,61$

$B = \frac{2}{bw_{med}} \left[n.d.As + \cancel{n'd'As'}^{0} + \left(bf - bw_{med} \right) \frac{hf^2}{2} \right]$

$B = \frac{2}{17,5} \left[7,87x37,5x6,28 + \left(80 - 17,5 \right) \frac{7,5^2}{2} \right] = 312,26$

$X_{II} = -A + \sqrt{A^2 + B} = -29,61 + \sqrt{29,61^2 + 312,26} = 4,87cm$

$$I_{II} = \frac{1}{3}\left[bf\ X_{II}^{3} - (bf-bw)\ (X_{II}-hf)^{3}\right] + n.As\ (d-X_{II})^{2} + \cancel{n'As'\ (X_{II}-d')^{2}}^{\ 0}$$

$$I_{II} = \frac{1}{3}\left[80x4,87^{3} - (80-17,5)\ (4,87-7,5)^{3}\right] + 7,87x6,28\ (38,5-4,87)^{2}$$

$$I_{II} = 59356\ cm4$$

COMO $\frac{Mr}{M_{d,serv}} = 0,40 < 0,5$ ADOTA-SE $EI_{eq} = EI_{II}$

INERCIA DA SEÇÃO FISSURADA

$EI_{ef} = E_{cs}\ I_{II}$

$EI_{ef} = 2668x59356 = 158\ 361\ 808\ KNcm2$

FLECHA IMEDIATA

$p_i = 6,10+0,4(2)=6,9\ KN/m = 0,07\ KN/cm$

$$f_i = \frac{5\,p_i\,l^{4}}{384EI} = \frac{5x0,07x800^{4}}{384\ x\ 158361808} = 2,35\ cm$$

FLECHA NO TEMPO INFINITO

$p_\infty = 2,46g + \psi_2\ 2,46q$

$p_\infty = 2,46g + 0,4x2,46q$

$p_\infty = 2,46(6,10)+0,4x2,46(2,00) = 16,97\ KNm = 0,1697\ KNcm$

$$f_\infty = \frac{5p_\infty\,l^{4}}{384EI} = \frac{5x0,1697x800^{4}}{384\ x\ 158361808} = 5,72\ cm$$

CONTROLE DA DEFORMAÇÃO

$$f_{adm} = \frac{800}{250} = 3,20\ cm$$

$f_\infty > f_{adm}$ APLICAR CONTRA FLECHA

LIMITE DA CONTRA-FLECHA

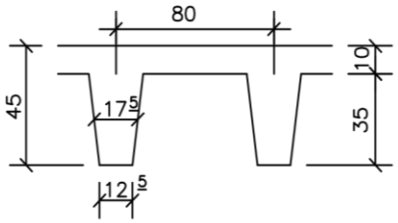
$$\frac{l}{350} = \frac{800}{350} = 2,28\ cm$$

FLECHA TEMPO INFINITO FINAL

$f_{\infty\,final} = 5,72 - 2,00 = 3,72\ cm > f_{adm} = 3,20\ cm$ NÃO ATENDE!

6a. SOLUÇÃO

FORMA ATEX 800U – ALTURA DA FORMA = 35 cm
ESPESSURA DA MESA = 10 cm



p.p.		4,43 KN/m2
REV		1,00 KN/m2
PAREDES		1,30 KN/m2
	g =	6,73 KN/m2
	q =	2,00 KN/m2
	g+q =	8,73 KN/m2

ALTURA UTIL:
d = 45–4 = 41 cm
VAO l = 800 cm

MOMENTO:

$Mg = \frac{6,73 \times 8,00^2}{8} = 53,84$ KNm = 5384 KNcm

$Mq = \frac{2 \times 8,00^2}{8} = 16,00$ KNm = 1600 KNcm

M= Mg + Mq
M= 5384+1600= 6984 KNcm

Md = 1,4 x 6984 = 9778 KNcm

$MR = fc.bf.hf \left(d - \frac{hf}{2}\right)$

$MR = 1,821 \times 80 \times 10 \left(41 - \frac{10}{2}\right) = 52445$ KNcm

COMO MR > Md LINHA NEUTRA NA MESA
USAR FORMULAS DE FLEXÃO SIMPLES COM BASE bf=80cm

$K = \frac{Md}{fc\ bf\ d^2} = \frac{9778}{1,821 \times 80 \times 41^2} = 0,04 < KL=0,295$

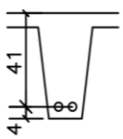
LOGO K'= K

.040833695

$As = \frac{1,821 \times 80 \times 41}{43,50}\left(1 - \sqrt{1 - 2(0,04)}\right) = 5,61$ cm2

2 ø 20mm

$As_{adot} = 6,28$ cm2



Asmin= 0,15% x 1413cm2 = 2,12 cm2
Tab.17.3 NBR 6118
POREM As > Asmin

MOMENTO DE SERVIÇO:

$M_{d,serv} = M_{gk} + \Sigma \Psi_2 M_{qi,k}$

$M_{d,serv} = 53,84 + 0,4(16,00) = 60,24 \text{ KNm} = 6024 \text{ KNcm}$

MOMENTO DE FISSURAÇÃO:

$M_r = @ f_{ct} \frac{Ic}{y_t}$

@ = 1,2 PARA SEÇÕES T

Ic = 218056 cm4 (CATALOGO ATEX)

y_t = 31 cm (CATALOGO ATEX)

$f_{ct} = f_{ct,m} = 0,3(fck)^{2/3} = 2,93 \text{ MPa} = 0,293 \text{ KN/cm2}$

$M_r = 1,2(0,293) \quad \frac{218056}{31} = 2473 \text{ KNcm}$

COMO

$M_{d,serv} > Mr$ ESTADIO II, SEÇÃO FISSURADA EI_{eq}

6024 KNcm > 2473 KNcm

CALCULO DA FLECHA:

$\frac{Mr}{M_{d,serv}} = 0,41 < 0,5$ ADOTAR $EI_{eq} = EI_{II}$

$E_{cs} = 2668 \text{ KN/m2}$

$n = \frac{Es}{E_{cs}} = \frac{21000}{2668} = 7,87 \qquad As' = 0$

$A = \frac{1}{bw_{med}} \left[n.As + \cancel{n'As'}^{0} + \left(bf - bw_{med} \right) hf \right]$

$A = \frac{1}{17,5} \left[7,87x6,28 + \left(80-17,5 \right) 10 \right] = 38,54$

$B = \frac{2}{bw_{med}} \left[n.d.As + \cancel{n'd'As'}^{0} + \left(bf - bw_{med} \right) \frac{hf^2}{2} \right]$

$B = \frac{2}{17,5} \left[7,87x41x6,28 + \left(80 - 17,5 \right) \frac{10^2}{2} \right] = 410$

$X_{II} = -A + \sqrt{A^2 + B} = -38,54 + \sqrt{38,54^2 + 410} = 5 \text{ cm}$

$$I_{II} = \frac{1}{3}\left[bf\ X_{II}^{3} - (bf-bw)\ (X_{II}-hf)^{3} \right] + n.As\ (d-X_{II})^{2} + \cancel{n'As'\ (X_{II}-d')^{2}}^{\,0}$$

$$I_{II} = \frac{1}{3}\left[80 \times 5^{3} - (80-17{,}5)\ (5-10)^{3} \right] + 7{,}87x6{,}28\ (41-5)^{2}$$

$$I_{II} = 70714\ cm4$$

COMO $\frac{Mr}{M_{d,serv}} = 0{,}41 < 0{,}5$ ADOTA-SE $EI_{eq} = EI_{II}$

INERCIA DA SEÇÃO FISSURADA

$EI_{ef} = E_{cs}\ I_{II}$

$EI_{ef} = 2668x70714 = 188\ 664\ 952$ KNcm2

FLECHA IMEDIATA

$p_i = 6{,}73+0{,}4(2)=7{,}53$ KN/m $= 0{,}0753$ KN/cm

$$f_i = \frac{5\,p_i\,l^{4}}{384EI} = \frac{5x0{,}0753x800^{4}}{384 \times 188664952} = 2{,}13\ cm$$

FLECHA NO TEMPO INFINITO

$p_\infty = 2{,}46g + \psi_2\ 2{,}46q$

$p_\infty = 2{,}46g + 0{,}4x2{,}46q$

$p_\infty = 2{,}46(6{,}73)+0{,}4x2{,}46(2{,}00) = 18{,}52$KNm $= 0{,}185$ KNcm

$$f_\infty = \frac{5p_\infty l^{4}}{384EI} = \frac{5x0{,}185x800^{4}}{384 \times 188664952} = 5{,}23\ cm$$

CONTROLE DA DEFORMAÇÃO

$$f_{adm} = \frac{800}{250} = 3{,}20\ cm$$

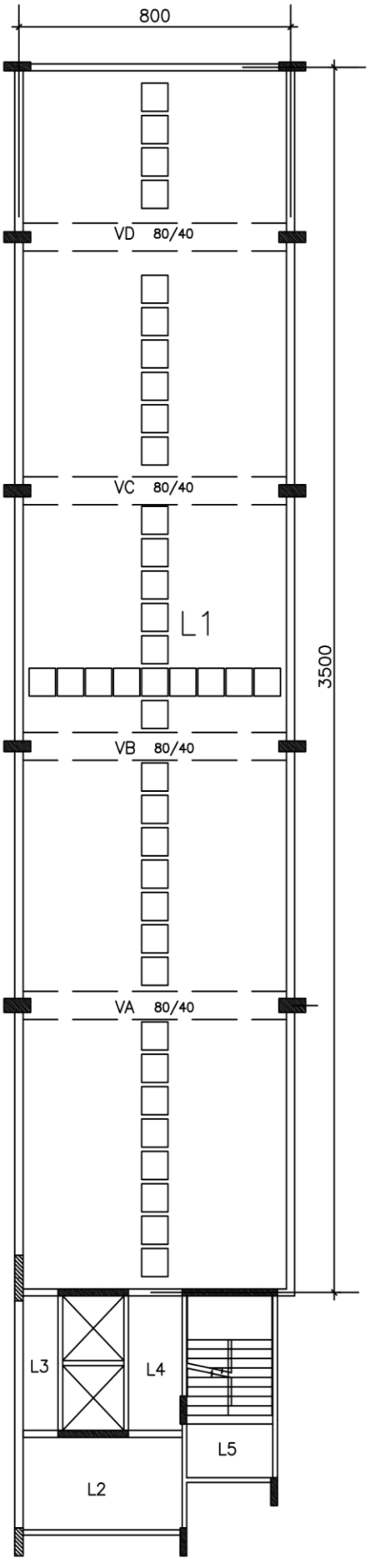
$f_\infty > f_{adm}$ APLICAR CONTRA FLECHA

LIMITE DA CONTRA-FLECHA

$$\frac{l}{350} = \frac{800}{350} = 2{,}28\ cm$$ ADOTAR 2 cm

FLECHA TEMPO INFINITO FINAL

$f_{\infty final} = 5{,}23 - 2{,}00 = 3{,}23\ cm \cong f_{adm} = 3{,}20\ cm$ OK!



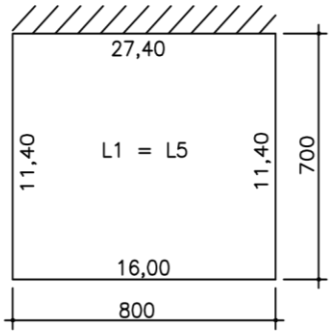
7a. SOLUÇÃO

INTRODUÇÃO DE VIGAS–FAIXAS
LAJE TIPO
MOLDE ATEX 800

7a. SOLUÇÃO COM VIGAS FAIXAS 80x40

CALCULO ATRAVES DO PROGRAMA TQS

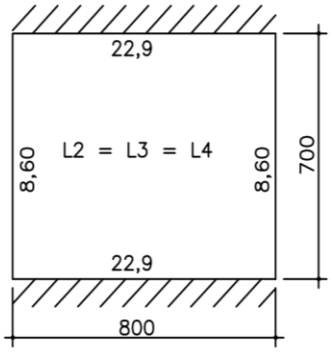
REAÇÃO DAS LAJES:



p.p.	5,23 KN/m2
REV	1,00 KN/m2
PAREDES	1,37 KN/m2
g =	7,60 KN/m2
q =	2,00 KN/m2
g+q =	9,60 KN/m2

$$\text{flecha}_{\text{LAJE}} = 1,25 \text{ cm}$$

$$\text{fadm} = \frac{800}{250} = 3,2\text{cm}$$



CALCULO DAS VIGAS FAIXAS

VA 80X40

M = 41,4 tf As = 40,36cm2 = 8 ø 25

flecha = 4,8 > 2,5 adm NÃO PASSA

FLECHA FINAL:

$$f_{final} = f_L + f_V$$

$$f_{final} = 1,25+4,8 = 6,05$$

CONCLUIMOS QUE A VIGA FAIXA NÃO AJUDA A MELHOR ALTURA E NEM A FLECHA.

4 – QUADRO COMPARATIVO

	ALTURA MESA	h_{tot} (cm)	pp KN/m2	As cm^2	Ic cm^4	X_{II}	I_{II}	f_{∞} cm
ATEX600U	10cm	42,5	5,23	9,82	164000	7,12	83666	4,78
ATEX600U	7,5cm	50,0	5,73	6,28	249191	7,19	81883	5,37 NAO ATENDE
ATEX600U	10cm	52,5	6,35	6,28	299250	6,52	93236	4,93
ATEX800U	10cm	50,0	4,90	6,28	306124	5,35	88427	4,45
ATEX800U	7,5cm	42,5	3,80	6,28	179875	4,87	59356	5,72 NÃO ATENDE
ATEX800U	10cm	45,0	4,43	6,28	218056	5,00	70714	5,23

5 – CONCLUSÃO

NO CASO DE SE USAR O MOLDE ATEX 600 U CONCLUIMOS QUE:
A SOLUÇÃO COM ALTURA TOTAL 42,5 cm, ONDE A MESA = 10 cm
SERA A OPÇÃO QUE MELHOR ATENDE, VISTO QUE AUMENTAR A ALTURA TOTAL
NÃO DIMINUI A FLECHA.

NO CASO DE SE USAR O MOLDE ATEX 800 U CONCLUIMOS QUE:
SOMENTE A SOLUÇÃO COM ALTURA TOTAL 50 cm, ONDE A MESA = 10 cm
ATENDERÁ A FLECHA ADMISSIVEL.

AS SOLUÇÕES COM ALTURA DE MESA = 7,5 cm NÃO ATENDEM AS FLECHAS

A SOLUÇÃO COM A VIGA FAIXA NÃO AJUDA MELHORAR A ALTURA E

NEM A FLECHA.

6 – BIBLIOGRAFIAS

- NBR 6118 – 2014
- APOSTILA DE CONCRETO ARMADO II
  DEFORMAÇÕES POR FLEXÃO
  DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ESTRUTURAS – EE–UFMG AGO/2014
- CATALOGO ATEX BRASIL