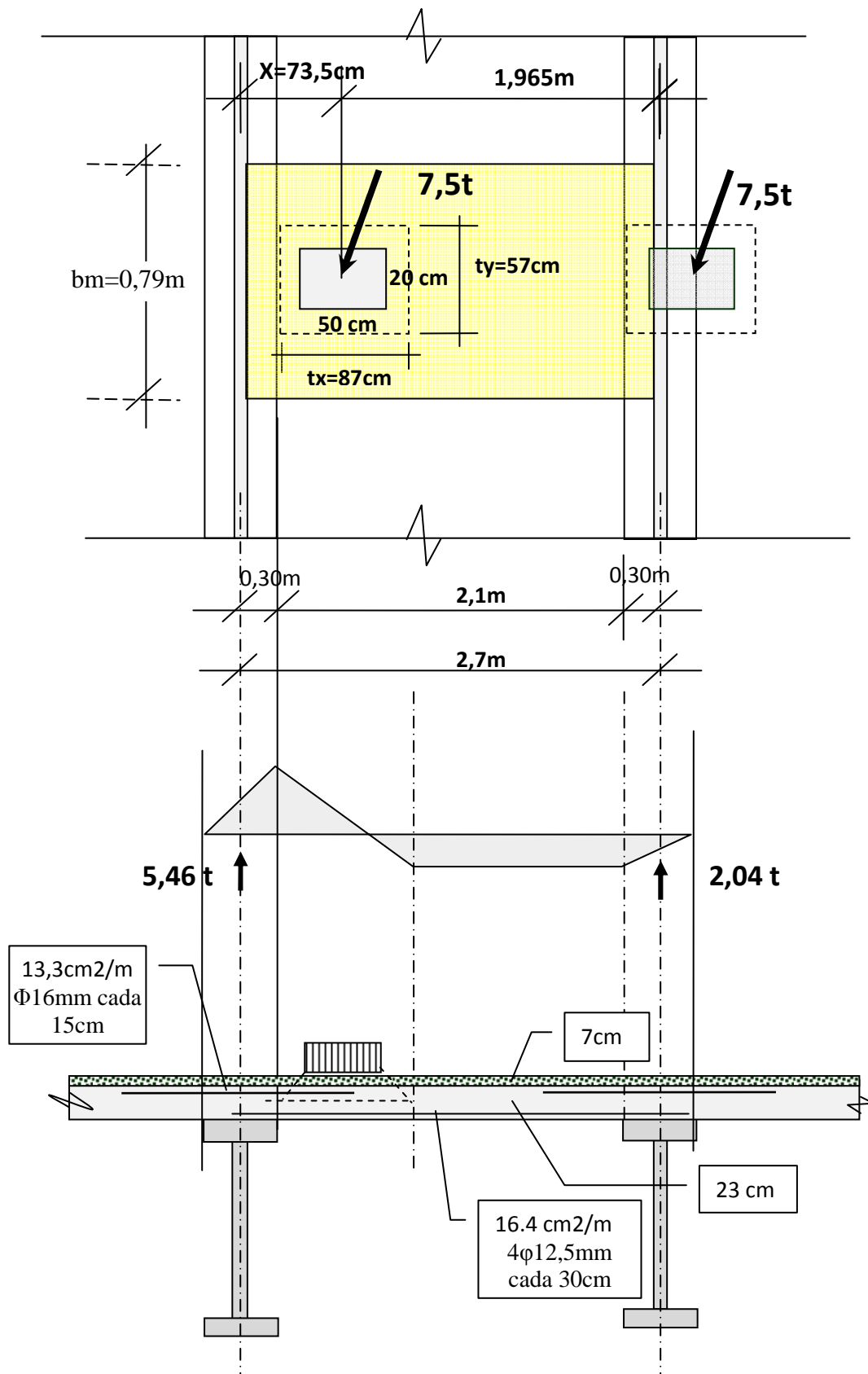




Verificação da resistência ao cisalhamento em laje do tabuleiro

Tensão de cisalhamento devida a uma roda:





$$\varphi = 1,40 - 0,007 \cdot lx = 1,40 - 0,007 \times 2,70m = 1,38$$

$$t_x \text{ (no plano médio da laje)} = 50\text{cm} + 2 \times (7\text{cm} + (23/2))\text{cm} = 87\text{cm}$$

$$t_y \text{ (no plano médio da laje)} = 20\text{cm} + 2 \times (7\text{cm} + (23/2))\text{cm} = 57\text{cm}$$

$$x = 30\text{cm} + 87\text{cm}/2 = 73,5\text{cm}$$

Largura útil para força cortante, segundo a norma alemã Deutscher Ausschuss für Stahlbeton – Heft 240

Laje bi-engastada

$$b_m = t_y + 0,3x = 57\text{cm} + 0,30 \times 73,5\text{cm} = 79,0\text{cm}$$

Laje bi-apoiada

$$b_m = t_y + 0,5x = 57 + 0,5 \times 73,5 = 93,8\text{cm}$$

Considerando a pior hipótese, como laje bi-engastada : $b_m = 0,79\text{m}$

Força cortante

$$\text{Reações de apoio : } V_A = 7,5\text{ t} \times (1,965\text{m} / 2,7\text{m}) = 5,46\text{ t}$$

$$V_d \text{ carga móvel} = (\varphi = 1,38) \times 5,46\text{t} / 0,79\text{m} = 9,54\text{ t/m}$$

Carga permanente :

$$\text{Peso da laje + Pavimentação} = V = (0,23\text{m} \times 2,5\text{t/m}^3 + 0,07\text{m} \times 2,5\text{t/m}^3) \times \left(\frac{2,70\text{m}}{2}\right) = 1,01\text{t/m}$$

Carga total atuante majorada:

$$V_d = 1,35 \times 1,01\text{ t/m} + 1,5 \times 9,54\text{ t/m} = 1,36\text{ t/m} + 14,31\text{ t/m} = 15,67\text{ t/m}$$

$$\text{Tensão atuante : } \tau_{d \text{ atuante}} = \frac{15,67\text{ t/m}}{1\text{m} \times (0,23\text{m} - 0,03\text{m})} = 78,35\text{ t/m}^2 = 0,78\text{ MPa}$$

$$\tau_{d \text{ atuante}} = 0,78\text{MPa}$$

Resistência da laje sem armadura transversal (sem estribos) :

Considerando a armadura negativa $\Phi 16\text{mm}$ cada $15\text{cm} = 13,3\text{ cm}^2/\text{m}$

$$\frac{V R_d 1}{b_w \times d} \text{ resistente} = \tau R_d \times k \times (1,2 + 40\rho_1) = \left(0,25 \times \frac{0,7 \times 0,3 f_{ck}^{(2/3)}}{1,4} \right) \times |1,6 - d(\text{m})| \times (1,2 + 40\rho_1) =$$



$$\frac{VRd1}{bw \times d} \text{ resistente} = \left[0,25 \times \frac{0,7 \times 0,3 \times (40MPa)^{(2/3)}}{1,40} \right] \times (1,60 - 0,20m) \times \left(1,2 + 40 \times \frac{13,3cm^2}{100cm \times 20cm} \right) =$$

$$\frac{VRd1}{bw \times d} \text{ resistente} = (0,439) \times (1,40) \times (1,466) = 0,90MPa$$

$$\tau d \text{ atuante} = 0,78MPa < \tau u \text{ resistente} = 0,90 MPa$$

Considerando a armadura inferior $4\Phi 12,5mm$ cada $30cm = 16,4 cm^2/m$

$$\frac{VRd1}{bw \times d} \text{ resistente} = \tau Rd \times k \times (1,2 + 40\rho 1) = \left(0,25 \times \frac{0,7 \times 0,3 f_{ck}^{(2/3)}}{1,4} \right) \times |1,6 - d(m)| \times (1,2 + 40\rho 1)$$

$$\frac{VRd1}{bw \times d} \text{ resistente} = \left[0,25 \times \frac{0,7 \times 0,3 \times (40MPa)^{(2/3)}}{1,40} \right] \times (1,60 - 0,20m) \times \left(1,2 + 40 \times \frac{16,4cm^2}{100cm \times 20cm} \right) =$$

$$\frac{VRd1}{bw \times d} \text{ resistente} = (0,439) \times (1,40) \times (1,528) = 0,94MPa$$

$$\tau d \text{ atuante} = 0,78MPa < \tau \text{ resistente} = 0,94 MPa$$

+++

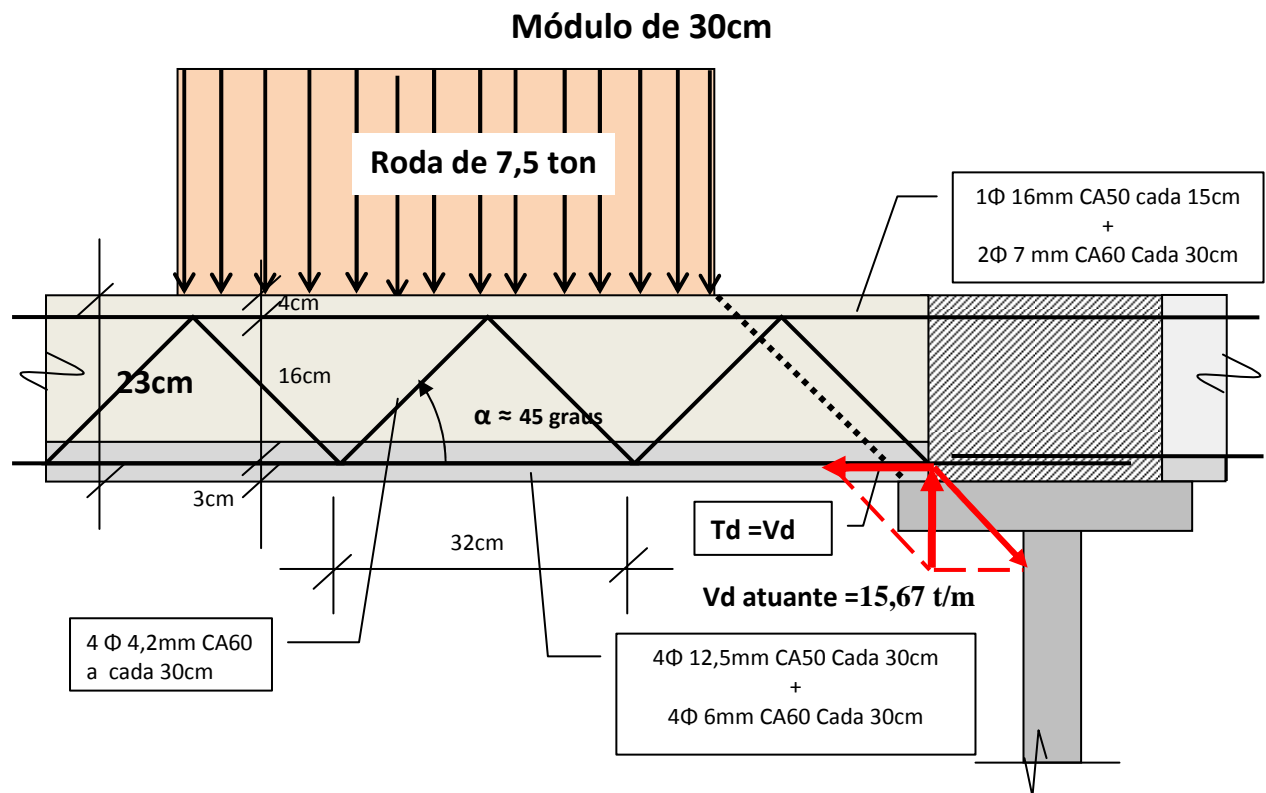
Considerando a Trelíça Gerdau TG16R participando da resistência à força cortante da laje.

Designação Gerdau	Designação	Peso (kg/m)	Altura (cm)	Banzo superior (mm)	Diagonal (mm)	Banzo inferior (mm)
TG 12 M	TR 12645	0,886	12	6,0	4,2	5,0
TG 12 R	TR 12646	1,016	12	6,0	4,2	6,0
TG 16 L	TR 16745	1,032	16	7,0	4,2	5,0
TG 16 R	TR 16746	1,168	16	7,0	4,2	6,0
TG 20 L	TR 20745	1,111	20	7,0	4,2	5,0
TG 20 R	TR 20756	1,446	20	7,0	4,2	6,0
TG 25 L	TR 25856	1,686	25	8,0	5,0	6,0
TG 25 R	TR 25857	1,855	25	8,0	5,0	7,0
TG 8 L	TR 08644	0,735	8	6,0	4,2	4,2
TG 8 M	TR 08645	0,821	8	6,0	4,2	5,0



NBR 6118 Item 19,4.2 e Item 17.4.2

Resistência da laje com armadura para força cortante (ferros inclinados).



Força de tração no apoio – Treliça Modelo I - Bielas a 45 graus
Em 0,30m de largura :

Biela no apoio a 45 graus:

$H_u \text{ resistente} = 4 \text{ ferros } 6\text{mm CA } 60 + 4\phi 12,5\text{mm CA } 50 =$

$H_u \text{ resistente} = 4 \times 0,28\text{cm}^2 \times 6\text{t/cm}^2 / 1,15 + 4 \times 1,23\text{cm}^2 \times 5\text{t/cm}^2 / 1,15 =$

$H_u \text{ resistente} = 5,9 \text{ t} + 21,39 \text{ t} = 27,29 \text{ t}$

$H_d \text{ atuante em } 30\text{cm} = 0,30\text{m} \times 15,67\text{t/m} = 4,7 \text{ t} < H_d \text{ resistente}$

$L \text{ emenda nec.} = 4,7/27,29 \times lb = 0,17 lb = 10\text{cm} \dots \text{ exist. } 50\text{cm}$

Considerando a participação das treliças TG16R na resistência da laje aos esforços cortantes:

NBR 6118 item Seção transversal : Concreto + Treliça de aço

Considerando a largura de 30cm :

$V_{Rd3} = V_c + V_{sw}$



- **Ferros inclinados soldados no topo e na base: (2 × 4,2mm) inclinados a 45 graus:**

$$V_{sw} = \left(\frac{A_{sw}}{s} \right) \times 0,90 \times d \times f_{ywd} \times (\text{sen}\alpha + \text{cos}\alpha) =$$

$$V_{swd} \text{ em } 30\text{cm} = \left(\frac{4 \times 0,14\text{cm}^2}{32\text{cm}} \right) \times 0,90 \times 20\text{cm} \times \left(\frac{6,0 \text{ t/cm}^2}{1,15} \right) \times (0,707 + 0,707) = 2,32 \text{ t}$$

Consideramos o aço CA60 com a resistência $f_{yk}=600$ MPa por estar bem ancorado nas duas extremidades, pelas soldas nas barras longitudinais da treliça TG16R.

- **Concreto**

$$V_{Cd} \text{ 1 treliça} = V_{c0} = 0,60 \times f_{ctd} \times b_w \times d = 0,60 \times \frac{f_{ctk,inf}}{1,4} \times b_w \times d =$$

Com item 8.2.5 da NBR 6118:

$$V_{cd} \text{ resistente} = 0,60 \times \left[\frac{0,70 \times 0,30 \times f_{ck} (\text{MPa})^{(2/3)}}{1,4} \right] \times b_w \times d$$

$$V_{cd} \text{ resistente} = 0,60 \times \left[\frac{0,70 \times 0,30 \times 40^{(2/3)}}{1,4} \right] \times 0,30\text{m} \times 0,20\text{m} =$$
$$= 0,6 \times [1,756\text{MPa}] \times 0,30\text{m} \times 0,2\text{m} = 0,063 \text{ MN} = 6,3\text{t}$$

Total : V resistente = $V_{sw} + V_c = 2,32\text{t} + 6,3\text{t} = 9,62\text{t}$ em cada 30cm

Vd atuante em 30cm = $15,67 \text{ t/m} \times 0,30\text{m} = 4,70 \text{ t} < V_u \text{ resistente} = 9,62 \text{ t}$

Conclusão:

- A laje de 23 cm com concreto $f_{ck} = 40\text{MPa}$ tem resistência aos esforços de cisalhamento causados pelas rodas junto dos bordos da laje, com a segurança da NBR6118.
- Considerando a participação das treliças TG16R na resistência aos esforços cortantes nas lajes a segurança é maior