

MEMÓRIA DE CÁLCULO ESTRUTURAL
PONTE BOM JARDIM DA SERRA

1. SUPERESTRUTURA

1.1 LONGARINAS

1.1.1 Cargas permanentes para uma longarina

a) Concentradas nas extremidades dos balanços:

Ala =	12,19 kN
Cortina + viga reforço =	48,26 kN
Solo s/ viga reforço =	25,62 kN
	86,07 kN

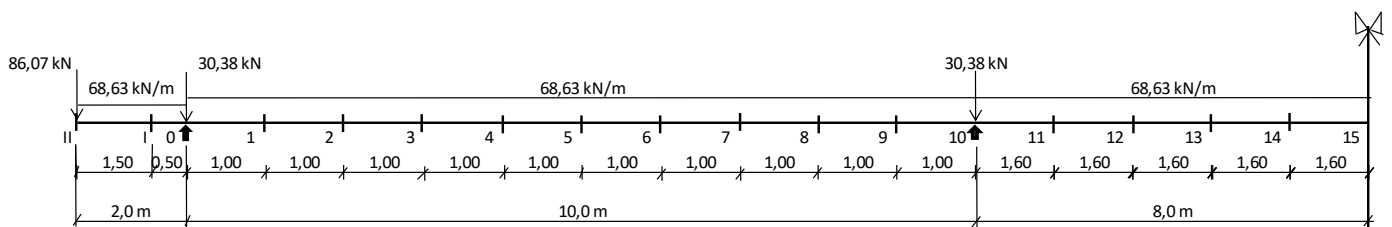
b) Distribuídas ao longo da ponte:

Barreira =	0,00 kN/m
Guarda-corpo =	2,00 kN/m
Passeio =	6,75 kN/m
Laje em balanço =	12,38 kN/m
Laje central =	20,25 kN/m
Viga principal =	19,50 kN/m
Pavimentação =	7,75 kN/m
	68,63 kN/m

c) Concentradas sobre os apoios

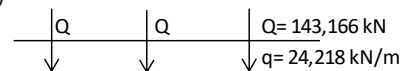
Transversinas de apoio =	30,38 kN
--------------------------	----------

d) Esquema estrutural e carregamentos permanentes



1.1.2 Cargas móveis para uma longarina (Classe 45 da NBR7188 - Trem tipo homogeneizado)

RP =	107,00 kN
Rp =	18,10 kN/m



$$\text{Impacto vertical} = 1,4 - 0,007 \times l = 1,338$$

1.1.3 Planilha de momentos fletores

Seção	Mg (kN.m)	Mq+ (kN.m)	Mq- (kN.m)	Md+ (kN.m)	Md- (kN.m)	MSd+ (serviço)		MSd- (serviço)	
						máximo	mínimo	máximo	mínimo
I	-206	0	-248	-206	-636			-330	-206
0	-309	0	-406	-309	-1001			-512	-309
1	-94	401	-394	467	-683			-291	-94
2	53	680	-381	1026	-480	393	53	-138	
3	132	845	-369	1368	-385	555	132	-53	
4	142	954	-427	1534	-456	619	142		
5	83	955	-521	1453	-646	561	83		
6	-44	857	-616	1156	-924	385		-352	-44
7	-240	672	-710	701	-1330	96		-595	-240
8	-505	428	-805	94	-1834			-908	-505
9	-838	150	-930	-628	-2475			-1303	-838
10	-1240	151	-1133	-1029	-3322			-1807	-1240
11	-450	190	-513	-184	-1348			-707	-450
12	165	583	-343	1047	-315	457	165	-7	
13	604	979	-288	2216	201	1094	604		
14	868	1239	-245	2950	525	1488	868		
15	956	1327	-205	3196	669	1620	956		

1.1.4 Planilha de esforços cortantes

Seção	Vg (kN)	Vq+ (kN)	Vq- (kN)	Vd+ (kN)	Vd- (kN)	Vsd+ (serviço)		Vsd- (serviço)	
						máximo	mínimo	máximo	mínimo
II D	-86	0	-143	-86	-321			-158	-86
I D	-189	0	-287	-189	-666			-333	-189
0 E	-223	0	-335	-223	-781			-391	-223
0 D	250	470	-100	1008	110	485	250		
1	181	397	-102	809	38	380	181		
2	113	328	-106	617	-35	277	113		
3	44	264	-127	431	-134	176	44		
4	-24	205	-188	253	-287	79		-118	-24
5	-93	152	-249	120	-479			-218	-93
6	-162	104	-312	-16	-664			-318	-162
7	-230	64	-374	-140	-846			-417	-230
8	-299	56	-436	-221	-1029			-517	-299
9	-368	54	-496	-292	-1210			-616	-368
10 E	-436	53	-554	-362	-1386			-713	-436
10 D	549	604	-38	1614	496	851	549		
11	439	530	-39	1357	384	704	439		
12	329	451	-51	1092	258	555	329		
13	220	372	-97	829	84	406	220		
14	110	294	-154	566	-106	257	110		
15	0	221	-221	309	-309	111	0	-111	0

1.1.5 Planilha de reações de apoio

Seção	Rg (kN)	Rq+ (kN)	Rq- (kN)	R máx (kN)	R min (kN)
0=30	504	622	-96	1126	408
10=20	1016	803	-57	1819	959

1.1.6 Planilha de dimensionamento à flexão

Seção	Armaduras calculadas para flexão						Após verificação à fadiga				Seção
	Md+ (kN.m)	d+ (cm)	As+ (cm ²)	Md- (kN.m)	d- (cm)	As- (cm ²)	As+		As-		
							cm ²	Adotado	cm ²	Adotado	
I		114,8		-636	114,8	13,40	20,00	4 φ 25,0	20,00	4 φ 25,0	I
0		114,8		-1001	114,8	21,54	20,00	4 φ 25,0	25,00	5 φ 25,0	0
1	467	114,8	9,45	-683	114,8	14,40	20,00	4 φ 25,0	20,00	4 φ 25,0	1
2	1026	114,8	20,83	-480	114,8	9,92	25,00	5 φ 25,0	20,00	4 φ 25,0	2
3	1368	114,8	27,88	-385	114,8	7,84	30,00	6 φ 25,0	10,00	2 φ 25,0	3
4	1534	114,8	31,41	-456	114,8	9,29	35,00	7 φ 25,0	10,00	2 φ 25,0	4
5	1453	114,8	29,75	-646	114,8	13,23	30,00	6 φ 25,0	10,00	2 φ 25,0	5
6	1156	114,8	23,46	-924	114,8	19,16	25,00	5 φ 25,0	20,00	4 φ 25,0	6
7	701	114,8	14,16	-1330	114,8	27,92	20,00	4 φ 25,0	30,00	6 φ 25,0	7
8	94	114,8	1,90	-1834	114,8	39,46	20,00	4 φ 25,0	40,00	8 φ 25,0	8
9		114,8		-2475	114,8	55,63	20,00	4 φ 25,0	55,00	11 φ 25,0	9
10		114,8		-3322	114,8	80,16	20,00	4 φ 25,0	80,00	16 φ 25,0	10
11		114,8		-1348	114,8	29,36	20,00	4 φ 25,0	30,00	6 φ 25,0	11
12	1047	114,8	21,25	-315	114,8	6,56	25,00	5 φ 25,0	20,00	4 φ 25,0	12
13	2216	114,8	45,56	201	114,8	0,00	45,00	9 φ 25,0	20,00	4 φ 25,0	13
14	2950	113,6	61,80	525	114,8	0,00	65,00	13 φ 25,0	20,00	4 φ 25,0	14
15	3196	113,3	67,14		114,8	0,00	70,00	14 φ 25,0	10,00	2 φ 25,0	15

f_{ck} = 25 MPaf_{yk} = 500 MPa

cob = 3,0 cm

A_{smin+} = 20,00 cm²

1.1.7 Fadiga para armaduras de flexão

Ec = 23800 Es = 210000 n = 8,824
 bw = 0,60 m h = 1,30 m hf = 0,30 m

Seção	As (flexão)		As (fadiga)		Armadura positiva					Armadura negativa				
	As+ (cm²)	As- (cm²)	As+ (cm²)	As- (cm²)	σmáx (Mpa)	σmin (Mpa)	Δσs (Mpa)	x (m)	J (m4)	σmáx (Mpa)	σmin (Mpa)	Δσs (Mpa)	x (m)	J (m4)
I	0,00	13,40	20,00	20,00	-24,4	-39,1	14,7	0,1405	0,0196	-154,1	-96,2	-57,9	0,2321	0,01730
0	0,00	21,54	20,00	25,00	-33,4	-55,3	21,9	0,1405	0,0196	-192,7	-116,3	-76,4	0,2561	0,02091
1	9,45	14,40	20,00	20,00	-11,1	-34,4	23,3	0,1405	0,0196	-135,9	-43,9	-92,0	0,2321	0,01730
2	20,83	9,92	25,00	20,00	143,4	-16,3	159,7	0,1559	0,0240	-64,2	22,5	-86,8	0,2321	0,01730
3	27,88	7,84	30,00	10,00	169,3	40,3	129,0	0,1696	0,0283	7,0	29,4	-22,4	0,1696	0,00942
4	31,41	9,29	35,00	10,00	162,7	37,3	125,3	0,1821	0,0324	7,0	30,7	-23,6	0,1696	0,00942
5	29,75	13,23	30,00	10,00	171,2	25,3	145,8	0,1696	0,0283	4,4	29,7	-25,3	0,1696	0,00942
6	23,46	19,16	25,00	20,00	140,3	0,0	140,3	0,1559	0,0240	0,0	22,1	-22,1	0,2321	0,01730
7	14,16	27,92	20,00	30,00	43,6	0,0	43,6	0,1405	0,0196	0,0	6,1	-6,1	0,2772	0,02433
8	1,90	39,46	20,00	40,00	0,0	-81,6	81,6	0,1405	0,0196	-217,4	-121,0	-96,4	0,3134	0,03074
9	0,00	55,63	20,00	55,00	-67,0	-104,2	37,2	0,1405	0,0196	-230,3	-148,1	-82,2	0,3576	0,03946
10	0,00	80,16	20,00	80,00	-87,0	-126,7	39,7	0,1405	0,0196	-223,7	-153,5	-70,1	0,4152	0,05222
11	0,00	29,36	20,00	30,00	-45,2	-71,0	25,8	0,1200	0,0201	-223,1	-142,1	-81,0	0,2772	0,02433
12	21,25	6,56	25,00	20,00	165,5	-0,8	166,2	0,1333	0,0247	-3,0	21,7	-24,8	0,2321	0,01730
13	45,56	0,00	45,00	20,00	223,0	123,2	99,8	0,1751	0,0421	22,2	40,1	-18,0	0,2321	0,01730
14	61,80	0,00	65,00	20,00	214,4	125,1	89,3	0,2058	0,0569	27,7	47,4	-19,8	0,2321	0,01730
15	67,14	0,00	70,00	10,00	217,8	128,6	89,2	0,2124	0,0604	29,7	50,3	-20,6	0,1696	0,00942

1.1.8 Armaduras de cisalhamento

fctk,inf = 1,795 MPa bw = 0,60 m

Seção	d (m)	Vd (MN)	VRd2 (MN)	0,5xVc (MN)	Vsw (MN)	Asw (cm²/m)	Δσs (Mpa)	(fator α)	αxAsw (cm²/m)	Estribos		Seção
										bitolas	ramos	
II D	1,148	0,321	2,989	0,265	0,056	1,24	97,0	1,141	6,16	10,0 c. 20	2	II D
I D	1,148	0,666	2,989	0,265	0,401	8,94	93,7	1,102	9,85	10,0 c. 16	2	I D
0 E	1,148	0,781	2,989	0,265	0,516	11,49	93,3	1,097	12,61	10,0 c. 12	2	0 E
0 D	1,148	1,008	2,989	0,265	0,743	16,54	101,4	1,193	19,73	10,0 c. 16	4	0 D
1	1,148	0,809	2,989	0,265	0,544	12,11	106,7	1,255	15,21	10,0 c. 10	2	1
2	1,148	0,617	2,989	0,265	0,352	7,84	115,5	1,359	10,66	10,0 c. 15	2	2
3	1,148	0,431	2,989	0,265	0,166	3,70	133,2	1,567	6,16	10,0 c. 20	2	3
4	1,148	0,253	2,989	0,265	-0,012	-0,26	-44,0	1,000	6,16	10,0 c. 20	2	4
5	1,148	0,479	2,989	0,265	0,214	4,76	113,1	1,331	6,33	10,0 c. 20	2	5
6	1,148	0,664	2,989	0,265	0,399	8,87	102,3	1,203	10,67	10,0 c. 15	2	6
7	1,148	0,846	2,989	0,265	0,581	12,92	96,2	1,132	14,63	10,0 c. 11	2	7
8	1,148	1,029	2,989	0,265	0,764	17,01	92,2	1,084	18,44	10,0 c. 17	4	8
9	1,148	1,210	2,989	0,265	0,945	21,03	89,2	1,049	22,06	10,0 c. 14	4	9
10 E	1,148	1,386	2,989	0,265	1,121	24,95	86,9	1,023	25,52	10,0 c. 12	4	10 E
10 D	1,148	1,614	2,989	0,265	1,349	30,03	81,4	1,000	30,03	10,0 c. 10	4	10 D
11	1,148	1,357	2,989	0,265	1,092	24,30	85,0	1,000	24,30	10,0 c. 13	4	11
12	1,148	1,092	2,989	0,265	0,827	18,41	89,8	1,057	19,46	10,0 c. 16	4	12
13	1,148	0,829	2,989	0,265	0,564	12,55	97,6	1,149	14,41	10,0 c. 11	2	13
14	1,136	0,566	2,958	0,262	0,303	6,82	113,1	1,330	9,08	10,0 c. 17	2	14
15	1,133	0,309	2,950	0,262	0,048	1,08	155,4	1,828	6,16	10,0 c. 20	2	15

Aswmin = 6,16 cm²/m

Armadura de pele = 6,00 cm²/m/face Adotado: φ10 c. 13

1.1.9 Armaduras de suspensão

O içamento da superestrutura com macacos sob as cortinas, faz com que elas recebam as cargas permanentes da superestrutura através das armaduras de suspensão. Admitindo 10% de majoração das cargas permanentes, temos:

$$\begin{aligned} \text{Apoio P1=P4} &= 1,1 \times 504 = 554 \text{ kN} \\ \text{Trecho considerado} &= 1,35 \text{ m} \\ A_s &= 1,4 \times 0,554 / (435 \times 1,35) = 13,22 \text{ cm}^2/\text{m} \\ \text{Será adotado: } &\phi 10 \quad \text{c. } 12,0 \longleftarrow 2 \text{ ramos} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Apoio P2=P3} &= 1,1 \times 1016 = 1118 \text{ kN} \\ \text{Trecho considerado} &= 1,35 \text{ m} \\ A_s &= 1,4 \times 1,118 / (435 \times 1,35) = 26,64 \text{ cm}^2/\text{m} \\ \text{Será adotado: } &\phi 10 \quad \text{c. } 12,0 \longleftarrow 4 \text{ ramos} \end{aligned}$$

1.2 LAJES

1.2.1 Lajes em balanço

1.2.1.1 Cargas permanentes

$$-M_{xeg} = 26,799 \text{ kN.m/m}$$

1.2.1.2 Cargas acidentais

$$-M_{xeg} = 7,200 \text{ kN.m/m}$$

1.2.1.3 Cargas móveis - Classe 45 (NBR 7188)

$$\varphi = 1,4 - 0,007 \times 0,35 = 1,398$$

$$-M_{xeq} = 1,398 \times 75 \times 0,35 / 1,02 = 35,966 \text{ kN.m/m}$$

1.2.1.4 Dimensionamento:

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa} \quad c_{ob} = 2,5 \text{ cm}$$

$$-M_{xed} = 1,4 \times 26,799 + 1,4 \times 35,966 = 87,872 \text{ kN.m/m}$$

$$h = 30 \text{ cm} \quad d = 27 \text{ cm} \quad k_c = 8,296 \quad k_s = 0,0241$$

$$A_s = 7,84 \text{ cm}^2/\text{m} > A_{smin} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m}$$

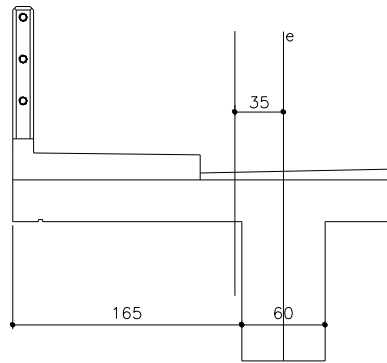
Avaliação da fadiga:

$$M_{sdm\acute{a}x} = 55,57 \text{ kN.m} \quad M_{sdm\acute{i}n} = 26,80 \text{ kN.m}$$

$$\text{Para } A_s = 7,84 \text{ cm}^2/\text{m} \quad \Delta\sigma_s = 145,69 \text{ MPa} < 190 \text{ MPa}$$

$$\text{Adotado: } \phi 10,0 \quad c. 10$$

$$\text{Para demais armaduras, utilizar: } A_{smin} = 4,50 \text{ cm}^2/\text{m} \leftarrow \phi 10,0 \quad c. 17$$



1.2.2 Lajes centrais

1.2.2.1 Simplesmente apoiadas

Cargas permanentes

$$g = 9,75 \text{ kN/m}^2 \quad l_x = 6,00 \text{ m}$$

$$M_{xmg0} = 0,125 \cdot g \cdot l_x^2 - M_{xeg} = 17,076 \text{ kN.m/m}$$

$$M_{ymg0} = 0,025 \times M_{xmg0} = 0,43 \text{ kN.m/m}$$

Utilizando Rüsç n°1:

Cargas móveis - Classe 45 (NBR 7188)

$$\varphi = 1,4 - 0,007 \times 6,00 = 1,358$$

$$t/a = 0,398$$

$$l_x/a = 3,000$$

$$M_{xmq0} = 1,358 \times 75 \times 0,678 + 5 \times (1,00 + 1,35) = 80,804 \text{ kN.m/m}$$

$$M_{ymq0} = 1,358 \times 75 \times 0,380 + 5 \times (0,17 + 0,40) = 41,553 \text{ kN.m/m}$$

1.2.2.2 Junto às cortinas

Utilizando Rüsç n°97:

$$-M_{yeg1} = 0,0570 \cdot g \cdot l_x^2 = 20,007 \text{ kN.m/m}$$

Cargas móveis - Classe 45 (NBR 7188)

$$-M_{yeq1} = 1,358 \times 75 \times 0,654 + 5 \times (0,10 + 0,61) = 70,160 \text{ kN.m/m}$$

1.2.2.2.1 Correções devido ao engastamento elástico nas cortinas

$$\begin{aligned} a &= 6,00 \text{ m} & b_w &= 0,25 \text{ m} \\ b &= 6,00 \text{ m} & h &= 0,30 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\varepsilon = \frac{b}{(3 \times h^3)} = 74,1 \quad \alpha = \alpha_0 \times \frac{a}{b_w} = 118,7$$

$$d_{vc} = \frac{\varepsilon}{(\varepsilon + \alpha)} = 0,38 \quad d_{lc} = \frac{\alpha}{(\alpha + \varepsilon)} = 0,62$$

$$\begin{aligned} -M_{yeg} &= d_{vc} \cdot M_{yeg1} = 7,690 \text{ kN.m/m} \\ -M_{yeq} &= d_{vc} \cdot M_{yeq1} = 26,965 \text{ kN.m/m} \end{aligned}$$

1.2.2.3 Dimensionamento: $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$ $cob = 2,5 \text{ cm}$

$$M_{xmd} = 1,4 \times 17,076 + 1,4 \times 80,804 = 137,032 \text{ kN.m/m}$$

$$\begin{aligned} h &= 30 \text{ cm} & d &= 26,875 \text{ cm} & k_c &= 5,271 & k_s &= 0,0247 \\ A_s &= & & 12,59 \text{ cm}^2/\text{m} & & > & A_{smin} &= 4,50 \text{ cm}^2/\text{m} \end{aligned}$$

Avaliação da fadiga:

$$\begin{aligned} M_{sdmáx} &= 81,72 \text{ kN.m} & M_{sdmín} &= 17,08 \text{ kN.m} \\ \text{Para } A_s &= 13,86 \text{ cm}^2/\text{m} & \Delta\sigma_s &= 189,98 \text{ MPa} & < & 190 \text{ MPa} \\ \text{Adotado:} & \phi 12,5 & \text{c. 9} & & & \end{aligned}$$

$$M_{ymd} = 1,4 \times 0,427 + 1,4 \times 41,553 = 58,772 \text{ kN.m/m}$$

$$\begin{aligned} h &= 30 \text{ cm} & d &= 25,75 \text{ cm} & k_c &= 11,282 & k_s &= 0,0238 \\ A_s &= & & 5,43 \text{ cm}^2/\text{m} & & > & A_{smin} &= 4,50 \text{ cm}^2/\text{m} \end{aligned}$$

Avaliação da fadiga:

$$\begin{aligned} M_{sdmáx} &= 33,67 \text{ kN.m} & M_{sdmín} &= 0,43 \text{ kN.m} \\ \text{Para } A_s &= 7,30 \text{ cm}^2/\text{m} & \Delta\sigma_s &= 189,48 \text{ MPa} & < & 190 \text{ MPa} \\ \text{Adotado:} & \phi 10,0 & \text{c. 11} & & & \end{aligned}$$

$$-M_{yed} = 1,4 \times 7,690 + 1,4 \times 26,965 = 48,517 \text{ kN.m/m}$$

$$\begin{aligned} h &= 30 \text{ cm} & d &= 25,75 \text{ cm} & k_c &= 13,667 & k_s &= 0,0236 \\ A_s &= & & 4,45 \text{ cm}^2/\text{m} & & < & A_{smin} &= 4,50 \text{ cm}^2/\text{m} \end{aligned}$$

Avaliação da fadiga:

$$\begin{aligned} M_{sdmáx} &= 29,26 \text{ kN.m} & M_{sdmín} &= 7,69 \text{ kN.m} \\ \text{Para } A_s &= 4,67 \text{ cm}^2/\text{m} & \Delta\sigma_s &= 189,74 \text{ MPa} & < & 190 \text{ MPa} \\ \text{Adotado:} & \phi 10,0 & \text{c. 12} & & & \end{aligned}$$

1.3 TRANSVERSINAS DE APOIO

As transversinas de apoio serão submetidas as máximas solicitações pelo içamento da superestrutura devido a troca de aparelhos de apoio.

Será avaliada como consolo com tirante superior e armadura de suspensão vertical constituída por estribos verticais na longarina, avaliados no item 1.1.9.

1.3.1 Apoios P1=P4

$$\begin{array}{lll} b_w = & 60 \text{ cm} & \text{cob} = 3,0 \text{ cm} \\ h = & 75 \text{ cm} & d = 70,1 \text{ cm} \\ a = & 65 \text{ cm} & \end{array}$$

a) Armadura do tirante superior :

$$P = 1,1 \times R_g = 554 \text{ kN}$$

$$T = 2,2 \times P \times a/d = 1131 \text{ kN}$$

$$A_s = 1,4 \times T/f_{yd} = 36,39 \text{ cm}^2 \quad \text{Adotado :} \quad 7\phi \quad 25,0$$

b) Armadura mínima de flexão :

$$A_{smin} = 0,0015 \times 60 \times 75 = 6,8 \text{ cm}^2 \quad \text{Adotado :} \quad 4\phi \quad 16,0$$

c) Armadura mínima de estribos:

$$A_{swmin} = 6,16 \text{ cm}^2/\text{m} \quad \text{Adotado :} \quad \phi 6,3 \quad \text{c.20} \quad \leftarrow \quad 4 \text{ ramos}$$

d) Armadura de pele :

$$\text{Arm. de pele: } 6,0 \text{ cm}^2/\text{m}/\text{face} \quad \text{Adotado:} \quad \phi 10,0 \quad \text{c.13}$$

1.3.2 Apoios P2=P3

$$\begin{array}{lll} b_w = & 60 \text{ cm} & \text{cob} = 3,0 \text{ cm} \\ h = & 75 \text{ cm} & d = 70,1 \text{ cm} \\ a = & 65 \text{ cm} & \end{array}$$

a) Armadura do tirante superior :

$$P = 1,1 \times R_g = 1118 \text{ kN}$$

$$T = 2,2 \times P \times a/d = 2279 \text{ kN}$$

$$A_s = 1,4 \times T/f_{yd} = 73,35 \text{ cm}^2 \quad \text{Adotado :} \quad 15\phi \quad 25,0$$

b) Armadura mínima de flexão :

$$A_{smin} = 0,0015 \times 60 \times 75 = 6,8 \text{ cm}^2 \quad \text{Adotado :} \quad 4\phi \quad 16,0$$

c) Armadura mínima de estribos:

$$A_{swmin} = 6,16 \text{ cm}^2/\text{m} \quad \text{Adotado :} \quad \phi 6,3 \quad \text{c.20} \quad \leftarrow \quad 4 \text{ ramos}$$

d) Armadura de pele :

$$\text{Arm. de pele: } 6,0 \text{ cm}^2/\text{m}/\text{face} \quad \text{Adotado:} \quad \phi 10,0 \quad \text{c.13}$$

1.4 ALAS

1.4.1 Para cargas verticais

$$A = 1,95 \text{ m}^2 \quad b_w = 25 \text{ cm}$$

$$G = 12,188 \text{ kN} \quad x = 0,75 \text{ m}$$

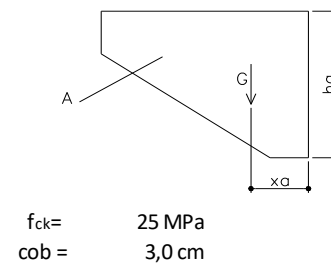
$$M_g = G \cdot x = 9,141 \text{ kN.m}$$

$$M_d = 1,4 \cdot M_g = 12,797 \text{ kN.m}$$

$$h = 130 \text{ cm} \quad d = 124,2 \text{ cm} \quad k_c = 301,3556$$

$$k_s = 0,0232 \quad A_s = 0,24 \text{ cm}^2 < A_{smin} = 4,88 \text{ cm}^2$$

$$\text{Será adotado: } 3 \phi \quad 16,0$$



1.4.2 Para cargas horizontais

$$c = 0 \quad \phi = 30^\circ \quad \delta = 0 \quad \gamma = 18 \text{ kN/m}^3$$

$$q(\text{sobrecarga}) = 25,00 \text{ kN/m}^2 \quad k_a = 0,33$$

$$\text{Pressão do solo: } p_s = 7,72 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Pressão da sobrecarga: } p_q = 8,25 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Pressão média: } p = 12,11 \text{ kN/m}^2$$

$$M = 13,625 \text{ kN.m/m}$$

$$M_d = 1,4 \times M = 19,075 \text{ kN.m/m}$$

$$d = 19,35 \quad k_c = 19,629 \quad k_s = 0,0232$$

$$A_s = 2,29 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{smin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{Será adotado: } \phi \ 8,0 \quad c.13$$

$$\text{Armadura externa} \quad A_{smin} = 3,75 \text{ cm}^2/\text{m} \quad \text{Adotado: } \phi \ 8,0 \quad c.13$$

$$\text{Armaduras verticais} \quad A_{swmin} = 2,57 \text{ cm}^2/\text{m} \quad \text{Adotado: } \phi \ 6,3 \quad c.20 \leftarrow 2 \text{ ramos}$$

1.5 CORTINAS

$h_c = 130 \text{ cm}$ $b_c = 25 \text{ cm}$ $\gamma = 18 \text{ kN/m}^2$

1.5.1 Cargas permanentes

Carregamentos sobre o vão:

Peso próprio (q_1) = 9,750 kN/m

Laje + pavimento (q_2) = 14,625 kN/m

$q_1 + q_2 = 24,375 \text{ kN/m}$

Carregamentos sobre o balanço:

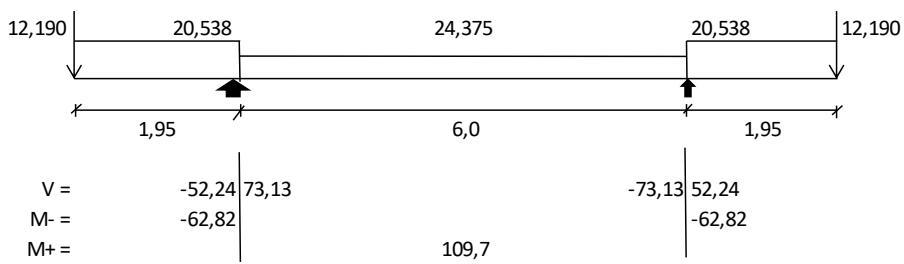
Peso próprio (q_1) = 9,750 kN/m

Laje + pavimento (q_2) = 9,506 kN/m

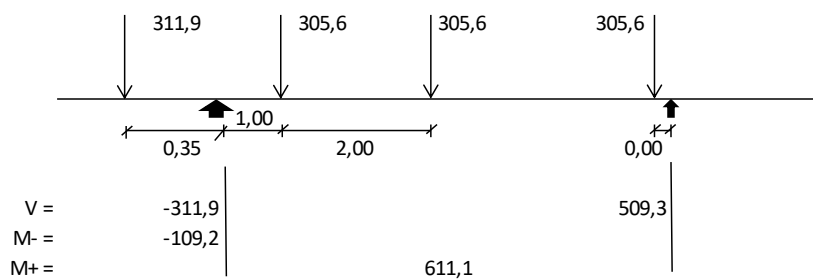
Guarda-corpo (q_3) = 1,282 kN/m

Carga vinda da ala (P) = 12,190 kN

$q_1 + q_2 + q_3 = 20,538 \text{ kN/m}$



1.5.2 Cargas móveis



1.5.3 Dimensionamento

$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$ $h_c = 130 \text{ cm}$ $b_c = 25 \text{ cm}$
 $cob = 3,0 \text{ cm}$

$-M_d = 1,4 \times (-M_g + -M_q) = 240,79 \text{ kN.m}$

$d = 125,2 \text{ cm}$ $k_c = 16,274$ $k_s = 0,0235$

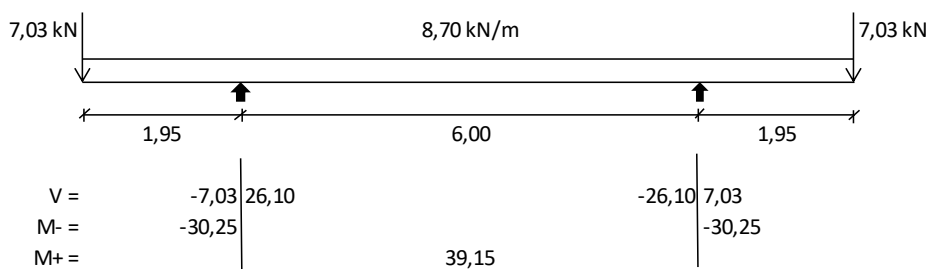
$A_s = 4,52 \text{ cm}^2/\text{m}$ < $A_{smin} = 4,88 \text{ cm}^2/\text{m}$

Adotado: 2 ϕ 20,0

$$\begin{array}{rcl}
 +M_d = 1,4 \times (M_g + M_q) = & 1009,10 \text{ kN.m} & b_c = 25 \text{ cm} \\
 d = & 125 \text{ cm} & k_c = 3,871 \quad k_s = 0,0251 \\
 A_s = & 20,26 \text{ cm}^2/\text{m} > & A_{smin} = 4,88 \text{ cm}^2/\text{m} \\
 \text{Adotado:} & 4 \phi 25,0 & \\
 V_d = 1,4 \times (V_{gm\acute{a}x} + V_{qm\acute{a}x}) = & 815,33 \text{ kN} & \\
 d = & 125 \text{ cm} & \\
 V_{Rd2} = 0,27 \times \alpha_v \times f_{cd} \times b \times d = & 1356,03 \text{ kN} & \\
 V_d < & V_{Rd2} & \text{Ok!} \\
 V_c = 0,6 \times f_{ctd} \times b \times d = & 240,47 \text{ kN} & \\
 V_{sw} = & 574,86 \text{ kN} & \\
 A_{sw} = & 11,747 \text{ cm}^2/\text{m} > & A_{swmin} = 2,565 \text{ cm}^2/\text{m} \\
 \text{Ser\acute{a} adotado:} & \phi 10,0 \quad \text{c.14,0} \leftarrow & 2 \text{ ramos} \\
 \text{Arm. de pele:} & 2,5 \text{ cm}^2/\text{m/face} & \text{Ser\acute{a} adotado: } \phi 8,0 \quad \text{c.20}
 \end{array}$$

1.6 VIGA DA CORTINA

1.6.1 Carregamentos e esforços



1.6.3 Dimensionamento

$$\begin{array}{rcl}
 f_{ck} = & 25 \text{ MPa} & h = 50 \text{ cm} \quad b_c = 25 \text{ cm} \\
 & & & \text{cob} = 3,0 \text{ cm} \\
 -M_d = 1,4 \times & 30,25 = & 42,35 \text{ kN.m} \\
 d = & 45,745 \text{ cm} & k_c = 12,353 \quad k_s = 0,0237 \\
 A_s = & 2,19 \text{ cm}^2/\text{m} > & A_{smin} = 1,88 \text{ cm}^2/\text{m} \\
 \text{Ser\acute{a} adotado:} & 2 \phi 12,5 & \\
 +M_d = 1,4 \times & 39,15 = & 54,81 \text{ kN.m} \\
 d = & 45,745 \text{ cm} & k_c = 9,54481 \quad k_s = 0,0239 \\
 A_s = & 2,86 \text{ cm}^2/\text{m} > & A_{smin} = 1,88 \text{ cm}^2/\text{m} \\
 \text{Ser\acute{a} adotado:} & 3 \phi 12,5 &
 \end{array}$$

$$V_d = 1,4 \times 26,10 = 36,54 \text{ kN}$$

$$d = 45,745 \text{ cm}$$

$$V_{Rd2} = 0,27 \times \alpha_v \times f_{cd} \times b \times d = 496,25 \text{ kN}$$

$$V_d < V_{Rd2} \quad \text{Ok!}$$

$$V_c = 0,6 \times f_{ctd} \times b \times d = 88,00 \text{ kN}$$

$$V_{sw} = -51,46 \text{ kN}$$

$$A_{sw} = -2,873 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{swmin} = 2,565 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Será adotado: ϕ 6,3 c.20,0

2. MESOESTRUTURA

2.1. Cargas verticais da superestrutura

$$P1 = P4: \quad R_g = 504 \text{ kN} \quad R_q^+ = 622 \text{ kN} \quad R_q^- = -96 \text{ kN}$$

$$R_{max} = 1126 \text{ kN} \quad R_{min} = 408 \text{ kN}$$

$$P2 = P3: \quad R_g = 1016 \text{ kN} \quad R_q^+ = 803 \text{ kN} \quad R_q^- = -57 \text{ kN}$$

$$R_{max} = 1819 \text{ kN} \quad R_{min} = 959 \text{ kN}$$

2.2. Aparelhos de apoio neoprene

$$P1 = P4: \quad 250 \times 400 \times 31 \text{ mm (2 camadas de 8 mm)}$$

$$\sigma_{max} = \frac{1,126}{0,25 \cdot 0,4} = 11,3 \text{ MPa} \quad k_a = \frac{1000 \cdot 0,25 \cdot 0,4}{2 \cdot 0,008} = 6250 \text{ kN/m}$$

$$P2 = P3: \quad 350 \times 450 \times 48 \text{ mm (3 camadas de 10 mm)}$$

$$\sigma_{max} = \frac{1,819}{0,35 \cdot 0,45} = 11,5 \text{ MPa} \quad k_a = \frac{1000 \cdot 0,35 \cdot 0,45}{3 \cdot 0,010} = 5250 \text{ kN/m}$$

2.3. Rigidez longitudinal

$$2.3.1. \text{ Dos Pilares: } h = 80 \text{ cm} \quad f_{ck} = 25 \text{ MPa} \quad E_{cs} = 23800 \text{ MPa} \quad I = 0,02011 \text{ m}^4$$

$$P1: \quad k_p = \frac{3 \cdot E_{cs} \cdot I}{h^3} = \frac{3 \cdot 23800 \cdot 0,02011}{1,3^3} = 653552 \text{ kN/m}$$

$$P2: \quad k_p = \frac{3 \cdot E_{cs} \cdot I}{h^3} = \frac{3 \cdot 23800 \cdot 0,02011}{3,5^3} = 33489 \text{ kN/m}$$

$$P3: \quad k_p = \frac{3 \cdot E_{cs} \cdot I}{h^3} = \frac{3 \cdot 23800 \cdot 0,02011}{2,8^3} = 65409 \text{ kN/m}$$

$$P4: \quad k_p = \frac{3 \cdot E_{cs} \cdot I}{h^3} = \frac{3 \cdot 23800 \cdot 0,02011}{2,3^3} = 118012 \text{ kN/m}$$

2.3.2. Dos conjuntos (pilar + aparelho de apoio):

$$P1: \quad \frac{1}{k_L} = \frac{1}{k_p} + \frac{1}{k_a} = \frac{1}{653552} + \frac{1}{6520} \rightarrow k_L = 6191 \text{ kN/m por pilar}$$

$$P2: \quad \frac{1}{k_L} = \frac{1}{k_p} + \frac{1}{k_a} = \frac{1}{33489} + \frac{1}{5250} \rightarrow k_L = 4539 \text{ kN/m por pilar}$$

$$P3: \quad \frac{1}{k_L} = \frac{1}{k_p} + \frac{1}{k_a} = \frac{1}{65409} + \frac{1}{5250} \rightarrow k_L = 4860 \text{ kN/m por pilar}$$

$$P4: \quad \frac{1}{k_L} = \frac{1}{k_p} + \frac{1}{k_a} = \frac{1}{118012} + \frac{1}{6520} \rightarrow k_L = 5936 \text{ kN/m por pilar}$$

2.4. Rigidez transversal

2.4.1. Dos Pórticos: utilizando formulário “Kleinlogel”

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa} \quad E_{cs} = 23800 \text{ MPa} \quad I_p = 0,02011 \text{ m}^4 \quad I_v = 0,03645 \text{ m}^4$$

$$P1: \quad k = \frac{I_v}{I_p} \cdot \frac{h}{l} = \frac{0,03645}{0,02011} \cdot \frac{1,3}{6,0} = 0,3927 \rightarrow N_2 = 6 \cdot k + 1 = 3,3562$$

$$k_{pt} = \frac{12 \cdot 23800 \cdot 0,02011 \cdot 3,3562}{(3 \cdot 0,3927 + 2) \cdot 1,3^3} = 2760708 \text{ kN/m por pórtico}$$

$$P2: \quad k = \frac{I_v}{I_p} \cdot \frac{h}{l} = \frac{0,03645}{0,02011} \cdot \frac{3,5}{6,0} = 1,057 \rightarrow N_2 = 6 \cdot k + 1 = 7,342$$

$$k_{pt} = \frac{12 \cdot 23800 \cdot 0,02011 \cdot 7,342}{(3 \cdot 1,057 + 2) \cdot 3,5^3} = 190198 \text{ kN/m por pórtico}$$

$$P3: \quad k = \frac{I_v}{I_p} \cdot \frac{h}{l} = \frac{0,03645}{0,02011} \cdot \frac{2,8}{6,0} = 0,846 \rightarrow N_2 = 6 \cdot k + 1 = 6,076$$

$$k_{pt} = \frac{12 \cdot 23800 \cdot 0,02011 \cdot 6,076}{(3 \cdot 0,846 + 2) \cdot 2,8^3} = 350308 \text{ kN/m por pórtico}$$

$$P4: \quad k = \frac{I_v}{I_p} \cdot \frac{h}{l} = \frac{0,03645}{0,02011} \cdot \frac{2,3}{6,0} = 0,695 \rightarrow N_2 = 6 \cdot k + 1 = 5,170$$

$$k_{pt} = \frac{12 \cdot 23800 \cdot 0,02011 \cdot 5,170}{(3 \cdot 0,695 + 2) \cdot 2,3^3} = 597428 \text{ kN/m por pórtico}$$

2.4.2. Dos conjuntos (pórtico + aparelhos de apoio):

$$P1: \quad \frac{1}{k_T} = \frac{1}{k_{pt}} + \frac{1}{2 \cdot k_a} = \frac{1}{2760708} + \frac{1}{2 \cdot 6250} \rightarrow k_T = 12444 \text{ kN/m por apoio}$$

$$P2: \quad \frac{1}{k_T} = \frac{1}{k_{pt}} + \frac{1}{2 \cdot k_a} = \frac{1}{190198} + \frac{1}{2 \cdot 5250} \rightarrow k_T = 9951 \text{ kN/m por apoio}$$

$$P3: \quad \frac{1}{k_T} = \frac{1}{k_{pt}} + \frac{1}{2 \cdot k_a} = \frac{1}{350308} + \frac{1}{2 \cdot 5250} \rightarrow k_T = 10194 \text{ kN/m por apoio}$$

$$P4: \quad \frac{1}{k_T} = \frac{1}{k_{pt}} + \frac{1}{2 \cdot k_a} = \frac{1}{597428} + \frac{1}{2 \cdot 6250} \rightarrow k_T = 12244 \text{ kN/m por apoio}$$

2.5. Forças horizontais longitudinais

$$2.5.1. \text{ Frenagem e aceleração: } F_f = 135 \text{ kN} \quad H_f = \frac{k_L}{\Sigma k_L} \cdot F_f$$

$$P1: \quad H_f = \frac{6191}{43052} \cdot 135 = 19,41 \text{ kN / pilar}$$

$$P2: \quad H_f = \frac{4539}{43052} \cdot 135 = 14,23 \text{ kN / pilar}$$

$$P3: \quad H_f = \frac{4860}{43052} \cdot 135 = 15,24 \text{ kN / pilar}$$

$$P4: \quad H_f = \frac{5936}{43052} \cdot 135 = 18,62 \text{ kN / pilar}$$

2.5.2. Empuxo unilateral na cortina:

$$b = 9,4 \text{ m} \quad h = 1,4 \text{ m} \quad K_a = 0,333 \quad \gamma = 18 \text{ kN/m}^3 \quad q = 25 \text{ kN/m}^2$$

$$E_a = 55 \text{ kN agindo na superestrutura}$$

$$E_q = 70 \text{ kN agindo na superestrutura}$$

$$E = E_a + E_q = 125 \text{ kN agindo na superestrutura}$$

$$P1: \quad H_E = \frac{6191}{43052} \cdot 125 = 17,98 \text{ kN / pilar}$$

$$P2: \quad H_E = \frac{4539}{43052} \cdot 125 = 13,18 \text{ kN / pilar}$$

$$P3: \quad H_E = \frac{4860}{43052} \cdot 125 = 14,11 \text{ kN / pilar}$$

$$P4: \quad H_{\varepsilon} = \frac{5936}{43052} \cdot 125 = 17,23 \text{ kN} / \text{ pilar}$$

2.5.3. Retração + queda de temperatura: $\Delta_T = 30^{\circ}\text{C}$ $\alpha = 10^{-5}$ $\varepsilon = 30 \cdot 10^{-5}$

Posição do PDN: $x = 17,91 \text{ m}$ à direita do apoio P1

$$P1: \quad H_{\varepsilon} = 30 \cdot 10^{-5} \cdot 6191 \cdot 17,91 = 33,26 \text{ kN} / \text{ pilar}$$

$$P2: \quad H_{\varepsilon} = 30 \cdot 10^{-5} \cdot 4539 \cdot 7,91 = 10,77 \text{ kN} / \text{ pilar}$$

$$P3: \quad H_{\varepsilon} = 30 \cdot 10^{-5} \cdot 4860 \cdot 8,09 = 11,81 \text{ kN} / \text{ pilar}$$

$$P4: \quad H_{\varepsilon} = 30 \cdot 10^{-5} \cdot 5936 \cdot 18,09 = 32,22 \text{ kN} / \text{ pilar}$$

2.5.4. Somatório das forças horizontais longitudinais:

$$P1: \quad H_L = 19,41 + 17,98 + 33,26 = 70,62 \text{ kN} / \text{ pilar}$$

$$P2: \quad H_L = 14,23 + 13,18 + 10,77 = 38,18 \text{ kN} / \text{ pilar}$$

$$P3: \quad H_L = 15,24 + 14,11 + 11,81 = 41,16 \text{ kN} / \text{ pilar}$$

$$P4: \quad H_L = 18,62 + 17,23 + 32,22 = 68,07 \text{ kN} / \text{ pilar}$$

2.6. Forças horizontais transversais devido ao vento: $H_w = 2,0 \cdot 36,0 \cdot 1,75 = 126 \text{ kN}$

$$\text{Apoio P1:} \quad H_T = \frac{12444}{44833} \cdot 126 = 34,97 \text{ kN} / \text{ apoio}$$

$$\text{Apoio P2:} \quad H_T = \frac{9951}{44833} \cdot 126 = 27,97 \text{ kN} / \text{ apoio}$$

$$\text{Apoio P3:} \quad H_T = \frac{10194}{44833} \cdot 126 = 28,65 \text{ kN} / \text{ apoio}$$

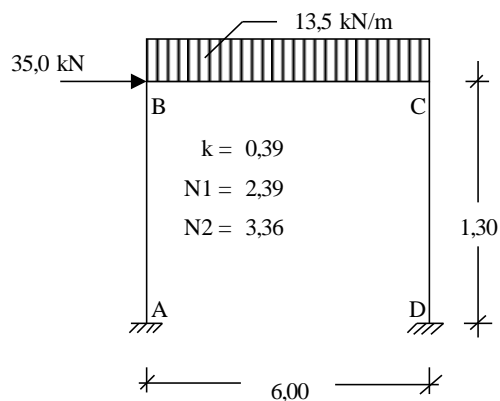
$$\text{Apoio P4:} \quad H_T = \frac{12244}{44833} \cdot 126 = 34,41 \text{ kN} / \text{ apoio}$$

2.7. Cálculo dos pórticos:

Os esforços foram avaliados utilizando formulário “Kleinlogel”

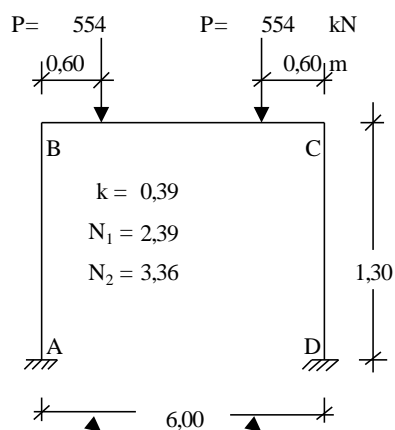
2.7.1. Pórtico P1

2.7.1.1. Para as ações em serviço



$$\begin{aligned}
 M_A &= 2 \text{ kN.m} \\
 M_B &= -26 \text{ kN.m} \\
 M_C &= -42 \text{ kN.m} \\
 M_D &= 32 \text{ kN.m} \\
 V_A &= 38 \text{ kN} \\
 V_D &= 43 \text{ kN} \\
 H_A &= 22 \text{ kN} \\
 H_D &= 57 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

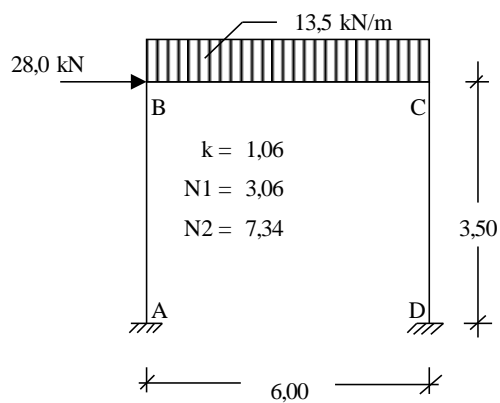
2.7.1.2. Para a troca dos aparelhos de apoio



$$\begin{aligned}
 M_A &= 125 \text{ kN.m} \\
 M_B &= -250 \text{ kN.m} \\
 M_C &= -250 \text{ kN.m} \\
 M_D &= 125 \text{ kN.m} \\
 M_P &= 82 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

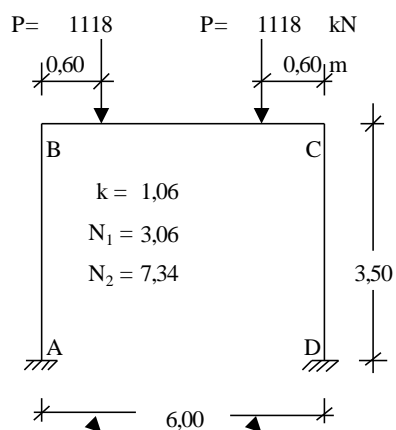
2.7.2. Pórtico P2

2.7.2.1. Para as ações em serviço



$$\begin{aligned}
 M_A &= -15 \text{ kN.m} \\
 M_B &= -5 \text{ kN.m} \\
 M_C &= -48 \text{ kN.m} \\
 M_D &= 41 \text{ kN.m} \\
 V_A &= 33 \text{ kN} \\
 V_D &= 48 \text{ kN} \\
 H_A &= -3 \text{ kN} \\
 H_D &= 25 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

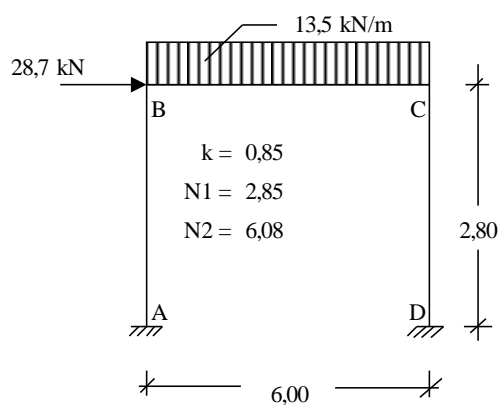
2.7.2.2. Para a troca dos aparelhos de apoio



$$\begin{aligned} M_A &= 197 \text{ kN.m} \\ M_B &= -395 \text{ kN.m} \\ M_C &= -395 \text{ kN.m} \\ M_D &= 197 \text{ kN.m} \\ M_P &= 276 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

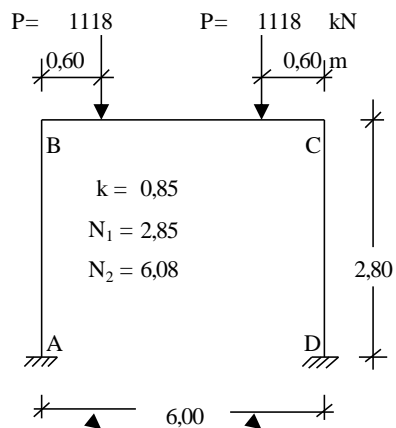
2.7.3. Pórtico P3

2.7.3.1. Para as ações em serviço



$$\begin{aligned} M_A &= -9 \text{ kN.m} \\ M_B &= -12 \text{ kN.m} \\ M_C &= -45 \text{ kN.m} \\ M_D &= 38 \text{ kN.m} \\ V_A &= 35 \text{ kN} \\ V_D &= 46 \text{ kN} \\ H_A &= 1 \text{ kN} \\ H_D &= 30 \text{ kN} \end{aligned}$$

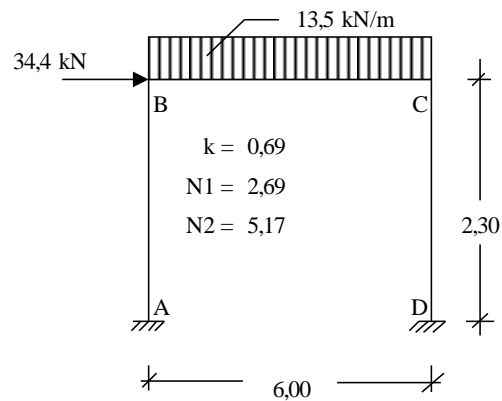
2.7.3.2. Para a troca dos aparelhos de apoio



$$\begin{aligned} M_A &= 212 \text{ kN.m} \\ M_B &= -424 \text{ kN.m} \\ M_C &= -424 \text{ kN.m} \\ M_D &= 212 \text{ kN.m} \\ M_P &= 247 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

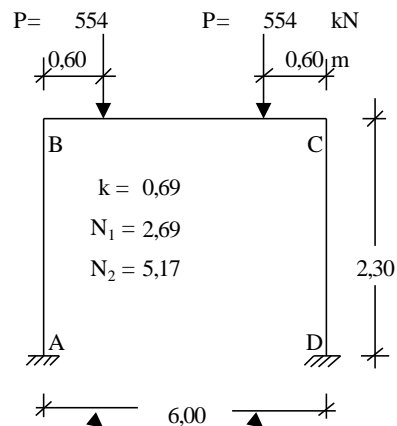
2.7.4. Pórtico P4

2.7.4.1. Para as ações em serviço



$M_A =$	-9	kN.m
$M_B =$	-14	kN.m
$M_C =$	-46	kN.m
$M_D =$	39	kN.m
$V_A =$	35	kN
$V_D =$	46	kN
$H_A =$	2	kN
$H_D =$	37	kN

2.7.4.2. Para a troca dos aparelhos de apoio



$M_A =$	111	kN.m
$M_B =$	-222	kN.m
$M_C =$	-222	kN.m
$M_D =$	111	kN.m
$M_P =$	110	kN.m

2.8. Dimensionamento dos pilares:

Os pilares serão considerados engastados na base e livres no topo

2.8.1 Pilares P1:

Comprimento do pilar: $l = 1,30 \text{ m}$ $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$ $f_{yd} = 435 \text{ MPa}$
 Valor do comprim. elástico: $l_e = 2,60 \text{ m}$
 Diâmetro do pilar: $h = 0,80 \text{ m}$ $A_c = 5027 \text{ cm}^2$ p. próprio = 16 kN
 $N_g = 504 \text{ kN}$ $N_q = 622 \text{ kN}$ $N_d = 1,61 \text{ MN}$ $v = 0,180$
 $M_{Ld} = 125 \text{ kN.m}$
 $M_{Td} = 236 \text{ kN.m}$ \rightarrow $M_{1d,A} = 0,267 \text{ MN.m}$ $>$ $M_{1d,min} = 0,063 \text{ MN.m}$
 Como $M_{1d,A} > M_{1d,min}$ \rightarrow $M_{1d} = 0,267 \text{ MN.m}$ \rightarrow $e_1 = 0,166 \text{ m}$
 $\lambda = 13,0 < \lambda_1 = 35,0$ \rightarrow Não será considerado o efeito de 2ª ordem
 $M_{d,tot} = 0,267 \text{ MN.m}$ \rightarrow $e = 0,166 \text{ m}$ \rightarrow $e/h = 0,207$
 Ábaco 5.4 de W. Pfeil: $f_c = 15,18 \text{ MPa}$ $v_1 = 0,166$ $v_1 \cdot e/h = 0,034$ $\omega = 0$
 $A_s = 0,00 \text{ cm}^2 < A_{s,min} = 20,11 \text{ cm}^2$ \rightarrow $A_s = 20,1 \text{ cm}^2$
 Adotamos 18 ϕ 16,0 e estribos ϕ 6,3 c. 20

2.8.2 Pilares P2:

Comprimento do pilar: $l = 3,50 \text{ m}$ $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$ $f_{yd} = 435 \text{ MPa}$
 Valor do comprim. elástico: $l_e = 7,00 \text{ m}$
 Diâmetro do pilar: $h = 0,80 \text{ m}$ $A_c = 5027 \text{ cm}^2$ p. próprio = 44 kN
 $N_g = 1016 \text{ kN}$ $N_q = 803 \text{ kN}$ $N_d = 2,58 \text{ MN}$ $v = 0,287$
 $M_{Ld} = 189 \text{ kN.m}$
 $M_{Td} = 357 \text{ kN.m}$ \rightarrow $M_{Id,A} = 0,404 \text{ MN.m}$ $>$ $M_{Id,min} = 0,100 \text{ MN.m}$
 Como $M_{Id,A} > M_{Id,min}$ \rightarrow $M_{Id} = 0,404 \text{ MN.m}$ \rightarrow $e_I = 0,157 \text{ m}$
 $\lambda = 35,0 < \lambda_I = 35,0$ \rightarrow Não será considerado o efeito de 2ª ordem
 $M_{d,tot} = 0,404 \text{ MN.m}$ \rightarrow $e = 0,157 \text{ m}$ \rightarrow $e/h = 0,196$
 Ábaco 5.4 de W. Pfeil: $f_c = 15,18 \text{ MPa}$ $v_1 = 0,265$ $v_1 \cdot e/h = 0,052$ $\omega = 0$
 $A_s = 0,00 \text{ cm}^2 < A_{smin} = 20,11 \text{ cm}^2$ \rightarrow $A_s = 20,1 \text{ cm}^2$
 Adotamos $18 \phi 16,0$ e estribos $\phi 6,3$ c. 20

2.8.3 Pilares P3:

Comprimento do pilar: $l = 2,80 \text{ m}$ $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$ $f_{yd} = 435 \text{ MPa}$
 Valor do comprim. elástico: $l_e = 5,60 \text{ m}$
 Diâmetro do pilar: $h = 0,80 \text{ m}$ $A_c = 5027 \text{ cm}^2$ p. próprio = 35 kN
 $N_g = 1016 \text{ kN}$ $N_q = 803 \text{ kN}$ $N_d = 2,58 \text{ MN}$ $v = 0,287$
 $M_{Ld} = 163 \text{ kN.m}$
 $M_{Td} = 375 \text{ kN.m}$ \rightarrow $M_{Id,A} = 0,409 \text{ MN.m}$ $>$ $M_{Id,min} = 0,100 \text{ MN.m}$
 Como $M_{Id,A} > M_{Id,min}$ \rightarrow $M_{Id} = 0,409 \text{ MN.m}$ \rightarrow $e_I = 0,159 \text{ m}$
 $\lambda = 28,0 < \lambda_I = 35,0$ \rightarrow Não será considerado o efeito de 2ª ordem
 $M_{d,tot} = 0,409 \text{ MN.m}$ \rightarrow $e = 0,159 \text{ m}$ \rightarrow $e/h = 0,198$
 Ábaco 5.4 de W. Pfeil: $f_c = 15,18 \text{ MPa}$ $v_1 = 0,265$ $v_1 \cdot e/h = 0,053$ $\omega = 0$
 $A_s = 0,00 \text{ cm}^2 < A_{smin} = 20,11 \text{ cm}^2$ \rightarrow $A_s = 20,1 \text{ cm}^2$
 Adotamos $18 \phi 16,0$ e estribos $\phi 6,3$ c. 20

2.8.4 Pilares P4:

Comprimento do pilar: $l = 2,30 \text{ m}$ $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$ $f_{yd} = 435 \text{ MPa}$
 Valor do comprim. elástico: $l_e = 4,60 \text{ m}$
 Diâmetro do pilar: $h = 0,80 \text{ m}$ $A_c = 5027 \text{ cm}^2$ p. próprio = 29 kN
 $N_g = 504 \text{ kN}$ $N_q = 622 \text{ kN}$ $N_d = 1,61 \text{ MN}$ $v = 0,180$
 $M_{Ld} = 213 \text{ kN.m}$
 $M_{Td} = 225 \text{ kN.m}$ \rightarrow $M_{Id,A} = 0,31 \text{ MN.m}$ $>$ $M_{Id,min} = 0,063 \text{ MN.m}$
 Como $M_{Id,A} > M_{Id,min}$ \rightarrow $M_{Id} = 0,310 \text{ MN.m}$ \rightarrow $e_I = 0,192 \text{ m}$
 $\lambda = 23,0 < \lambda_I = 35,0$ \rightarrow Não será considerado o efeito de 2ª ordem
 $M_{d,tot} = 0,310 \text{ MN.m}$ \rightarrow $e = 0,192 \text{ m}$ \rightarrow $e/h = 0,240$
 Ábaco 5.4 de W. Pfeil: $f_c = 15,18 \text{ MPa}$ $v_1 = 0,166$ $v_1 \cdot e/h = 0,040$ $\omega = 0$
 $A_s = 0,00 \text{ cm}^2 < A_{smin} = 20,11 \text{ cm}^2$ \rightarrow $A_s = 20,1 \text{ cm}^2$
 Adotamos $18 \phi 16,0$ e estribos $\phi 6,3$ c. 20

2.9. Fretagem no topo dos pilares:

P1 = P4: estribos ϕ 8,0 c.10

P2 = P3: estribos ϕ 8,0 c.8

2.10. Dimensionamento das vigas dos pórticos:

P1 = P4: $M_d^- = 1,35 \cdot (42 + 250) = 394,20 \text{ kN.m} = 39420 \text{ kN.cm}$

$$k_c = \frac{60 \cdot 85^2}{39420} = 11,0 \rightarrow A_s^- = 11,13 \text{ cm}^2 > A_{s,\min} = 8,10 \text{ cm}^2 \rightarrow 6 \phi 16,0$$

$M_d^+ = 1,35 \cdot 110 = 148,50 \text{ kN.m} = 14850 \text{ kN.cm}$

$$k_c = \frac{60 \cdot 85^2}{14850} = 29,2 \rightarrow A_s^+ = 4,19 \text{ cm}^2 < A_{s,\min} = 8,10 \text{ cm}^2 \rightarrow 4 \phi 16,0$$

$A_{s,sw} = A_{s,sw,\min} = 6,18 \text{ cm}^2 / \text{m} \rightarrow \text{estribos } \phi 6,3 \text{ c.20 de 4 ramos}$

$A_{s,pele} = 5,00 \text{ cm}^2 / \text{m} \rightarrow \phi 10,0 \text{ c.16}$

P2 = P3: $M_d^- = 1,35 \cdot (45 + 424) = 633,15 \text{ kN.m} = 63315 \text{ kN.cm}$

$$k_c = \frac{60 \cdot 85^2}{63315} = 6,8 \rightarrow A_s^- = 17,88 \text{ cm}^2 > A_{s,\min} = 8,10 \text{ cm}^2 \rightarrow 4 \phi 25,0$$

$M_d^+ = 1,35 \cdot 276 = 372,60 \text{ kN.m} = 37260 \text{ kN.cm}$

$$k_c = \frac{60 \cdot 85^2}{37260} = 11,6 \rightarrow A_s^+ = 10,52 \text{ cm}^2 > A_{s,\min} = 8,10 \text{ cm}^2 \rightarrow 6 \phi 16,0$$

$A_{s,sw} = A_{s,sw,\min} = 6,18 \text{ cm}^2 / \text{m} \rightarrow \text{estribos } \phi 6,3 \text{ c.20 de 4 ramos}$

$A_{s,pele} = 5,00 \text{ cm}^2 / \text{m} \rightarrow \phi 10,0 \text{ c.16}$

3. INFRAESTRUTURA

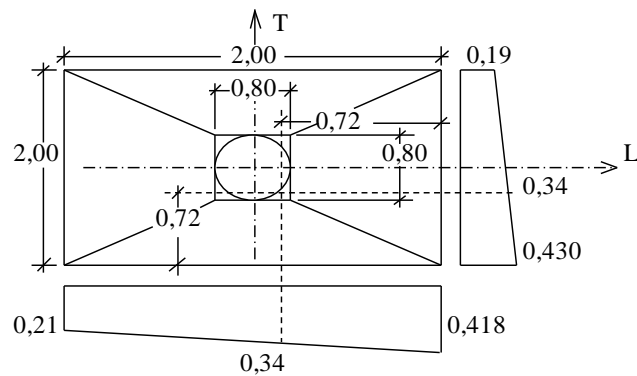
A infraestrutura será constituída por sapatas assentes em rocha sã.

3.1. Para os pilares P1

$$\begin{aligned} N_{\max} &= 1,247 \text{ MN} \\ N_{\min} &= 0,529 \text{ MN} \\ M_L &= 0,141 \text{ MN.m} \\ M_T &= 0,157 \text{ MN.m} \end{aligned}$$

3.1.1. Para máxima carga vertical

$$\begin{aligned} \sigma_{N_{\max}} &= 0,312 \text{ MPa} \\ \sigma_{M_L} &= 0,106 \text{ MPa} \\ \sigma_{M_T} &= 0,118 \text{ MPa} \end{aligned}$$

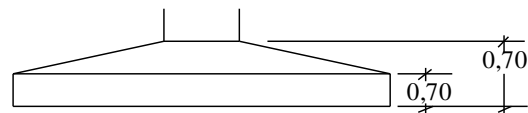


Admitindo-se base totalmente comprimida resultam as tensões:

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &= 0,535 \text{ MPa} \\ \sigma_{\min} &= 0,09 \text{ MPa} > 0 \rightarrow \text{ok} \end{aligned}$$

Dimensionamento:

$$\begin{aligned} f_{ck} &= 25 \text{ MPa} \\ f_{ctk,sup} &= 3,33 \text{ MPa} \end{aligned}$$



Direção longitud. (L) $M_{dmin} = 0,436 \text{ MN.m} > M_{Ld} \rightarrow M_d = 0,436 \text{ MN.m}$
 $M_{Ld} = 0,285 \text{ MN.m}$ $b = 80 \text{ cm}$ $d = 65 \text{ cm}$
 $k_c = 7,76$ $k_s = 0,024$
 $A_s = 16,09 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Adotar } 18 \phi 12,5$

Direção transv. (T) : $M_{dmin} = 0,436 \text{ MN.m} > M_{Td} \rightarrow M_d = 0,436 \text{ MN.m}$
 $M_{Td} = 0,364 \text{ MN.m}$ $b = 80 \text{ cm}$ $d = 65 \text{ cm}$
 $k_c = 7,76$ $k_s = 0,024$
 $A_s = 16,09 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Adotar } 18 \phi 12,5$

$$\text{Volume da sapata : } V = 2,800 \text{ m}^3$$

3.1.2. Para mínima carga vertical

$$\begin{aligned} \sigma_{N_{\min}} &= 0,132 \text{ MPa} \\ \sigma_{M_L} &= 0,106 \text{ MPa} \\ \sigma_{M_T} &= 0,118 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Admitindo-se base totalmente comprimida resultam as tensões:

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &= 0,356 \text{ MPa} \\ \sigma_{\min} &= -0,09 \text{ MPa} < 0 \end{aligned}$$

Para os casos de base parcialmente comprimida pode-se calcular a pressão máxima utilizando tabela :

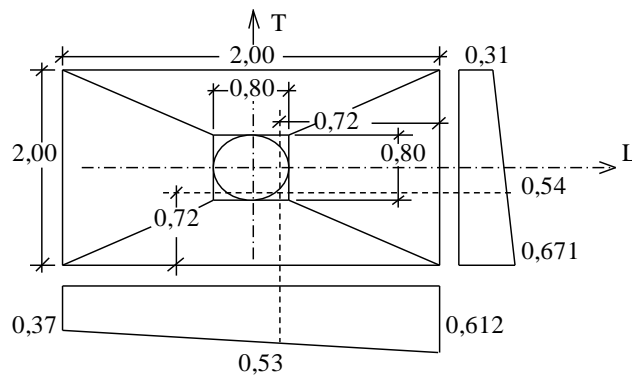
$$e_L/L = 0,13 \quad e_T/T = 0,15 \quad k = 2,790 \quad \sigma_{\max} = 0,369 \text{ MPa}$$

3.2. Para os pilares P2

$$\begin{aligned} N_{\max} &= 1,968 \text{ MN} \\ N_{\min} &= 1,108 \text{ MN} \\ M_L &= 0,160 \text{ MN.m} \\ M_T &= 0,238 \text{ MN.m} \end{aligned}$$

3.2.1. Para máxima carga vertical

$$\begin{aligned} \sigma_{N_{\max}} &= 0,492 \text{ MPa} \\ \sigma_{M_L} &= 0,120 \text{ MPa} \\ \sigma_{M_T} &= 0,179 \text{ MPa} \end{aligned}$$

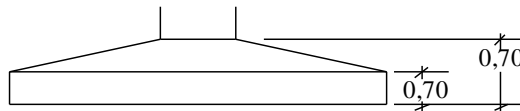


Admitindo-se base totalmente comprimida resultam as tensões:

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &= 0,791 \text{ MPa} \\ \sigma_{\min} &= 0,19 \text{ MPa} > 0 \rightarrow \text{ok} \end{aligned}$$

Dimensionamento:

$$\begin{aligned} f_{ck} &= 25 \text{ MPa} \\ f_{ctk,sup} &= 3,33 \text{ MPa} \end{aligned}$$



Direção longitud. (L) $M_{dmin} = 0,436 \text{ MN.m} > M_{Ld} \rightarrow M_d = 0,436 \text{ MN.m}$
 $M_{Ld} = 0,423 \text{ MN.m}$ $b = 80 \text{ cm}$ $d = 65 \text{ cm}$
 $k_c = 7,76$ $k_s = 0,024$
 $A_s = 16,09 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Adotar } 18 \phi 12,5$

Direção transv. (T) : $M_{dmin} = 0,436 \text{ MN.m} < M_{Td} \rightarrow M_d = 0,566 \text{ MN.m}$
 $M_{Td} = 0,566 \text{ MN.m}$ $b = 80 \text{ cm}$ $d = 65 \text{ cm}$
 $k_c = 5,97$ $k_s = 0,024$
 $A_s = 20,90 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Adotar } 18 \phi 12,5$

$$\text{Volume da sapata : } V = 2,800 \text{ m}^3$$

3.2.2. Para mínima carga vertical

$$\begin{aligned} \sigma_{N_{\min}} &= 0,277 \text{ MPa} \\ \sigma_{M_L} &= 0,120 \text{ MPa} \\ \sigma_{M_T} &= 0,179 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Admitindo-se base totalmente comprimida resultam as tensões:

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &= 0,576 \text{ MPa} \\ \sigma_{\min} &= -0,02 \text{ MPa} < 0 \end{aligned}$$

Para os casos de base parcialmente comprimida pode-se calcular a pressão máxima utilizando tabela :

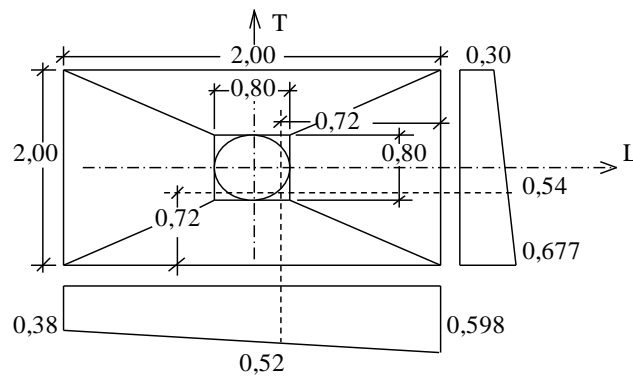
$$e_L/L = 0,07 \quad e_T/T = 0,11 \quad k = 2,082 \quad \sigma_{\max} = 0,577 \text{ MPa}$$

3.3. Para os pilares P3

$$\begin{aligned}
 N_{\max} &= 1,959 \text{ MN} \\
 N_{\min} &= 1,099 \text{ MN} \\
 M_L &= 0,144 \text{ MN.m} \\
 M_T &= 0,250 \text{ MN.m}
 \end{aligned}$$

3.3.1. Para máxima carga vertical

$$\begin{aligned}
 \sigma_{N_{\max}} &= 0,490 \text{ MPa} \\
 \sigma_{M_L} &= 0,108 \text{ MPa} \\
 \sigma_{M_T} &= 0,188 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

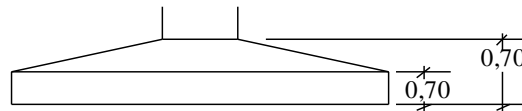


Admitindo-se base totalmente comprimida resultam as tensões:

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\max} &= 0,785 \text{ MPa} \\
 \sigma_{\min} &= 0,19 \text{ MPa} > 0 \rightarrow \text{ok}
 \end{aligned}$$

Dimensionamento:

$$\begin{aligned}
 f_{ck} &= 25 \text{ MPa} \\
 f_{ctk,sup} &= 3,33 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$



Direção longitud. (L) $M_{dmin} = 0,436 \text{ MN.m} > M_{Ld} \rightarrow M_d = 0,436 \text{ MN.m}$
 $M_{Ld} = 0,415 \text{ MN.m}$ $b = 80 \text{ cm}$ $d = 65 \text{ cm}$
 $k_c = 7,76$ $k_s = 0,024$
 $A_s = 16,09 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Adotar } 18 \phi 12,5$

Direção transv. (T) : $M_{dmin} = 0,436 \text{ MN.m} < M_{Td} \rightarrow M_d = 0,575 \text{ MN.m}$
 $M_{Td} = 0,575 \text{ MN.m}$ $b = 80 \text{ cm}$ $d = 65 \text{ cm}$
 $k_c = 5,88$ $k_s = 0,024$
 $A_s = 21,23 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Adotar } 18 \phi 12,5$

$$\text{Volume da sapata : } V = 2,800 \text{ m}^3$$

3.3.2. Para mínima carga vertical

$$\begin{aligned}
 \sigma_{N_{\min}} &= 0,275 \text{ MPa} \\
 \sigma_{M_L} &= 0,108 \text{ MPa} \\
 \sigma_{M_T} &= 0,188 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Admitindo-se base totalmente comprimida resultam as tensões:

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\max} &= 0,570 \text{ MPa} \\
 \sigma_{\min} &= -0,02 \text{ MPa} < 0
 \end{aligned}$$

Para os casos de base parcialmente comprimida pode-se calcular a pressão máxima utilizando tabela :

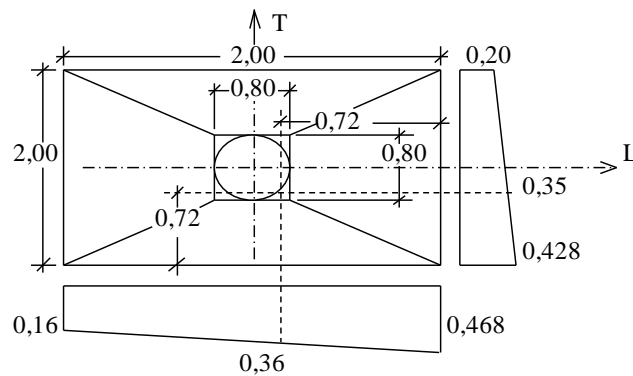
$$e_L/L = 0,07 \quad e_T/T = 0,11 \quad k = 2,082 \quad \sigma_{\max} = 0,572 \text{ MPa}$$

3.4. Para os pilares P4

$$\begin{aligned} N_{\max} &= 1,260 \text{ MN} \\ N_{\min} &= 0,542 \text{ MN} \\ M_L &= 0,204 \text{ MN.m} \\ M_T &= 0,150 \text{ MN.m} \end{aligned}$$

3.4.1. Para máxima carga vertical

$$\begin{aligned} \sigma_{N_{\max}} &= 0,315 \text{ MPa} \\ \sigma_{M_L} &= 0,153 \text{ MPa} \\ \sigma_{M_T} &= 0,113 \text{ MPa} \end{aligned}$$

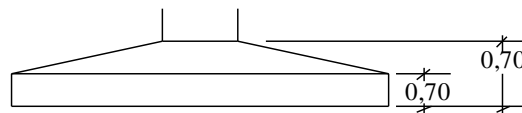


Admitindo-se base totalmente comprimida resultam as tensões:

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &= 0,581 \text{ MPa} \\ \sigma_{\min} &= 0,05 \text{ MPa} > 0 \rightarrow \text{ok} \end{aligned}$$

Dimensionamento:

$$\begin{aligned} f_{ck} &= 25 \text{ MPa} \\ f_{ctk,sup} &= 3,33 \text{ MPa} \end{aligned}$$



Direção longitud. (L) $M_{dmin} = 0,436 \text{ MN.m} > M_{Ld} \rightarrow M_d = 0,436 \text{ MN.m}$
 $M_{Ld} = 0,313 \text{ MN.m}$ $b = 80 \text{ cm}$ $d = 65 \text{ cm}$
 $k_c = 7,76$ $k_s = 0,024$
 $A_s = 16,09 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Adotar } 18 \phi 12,5$

Direção transv. (T) : $M_{dmin} = 0,436 \text{ MN.m} > M_{Td} \rightarrow M_d = 0,436 \text{ MN.m}$
 $M_{Td} = 0,360 \text{ MN.m}$ $b = 80 \text{ cm}$ $d = 65 \text{ cm}$
 $k_c = 7,76$ $k_s = 0,024$
 $A_s = 16,09 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Adotar } 18 \phi 12,5$

$$\text{Volume da sapata : } V = 2,800 \text{ m}^3$$

3.4.2. Para mínima carga vertical

$$\begin{aligned} \sigma_{N_{\min}} &= 0,136 \text{ MPa} \\ \sigma_{M_L} &= 0,153 \text{ MPa} \\ \sigma_{M_T} &= 0,113 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Admitindo-se base totalmente comprimida resultam as tensões:

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &= 0,401 \text{ MPa} \\ \sigma_{\min} &= -0,13 \text{ MPa} < 0 \end{aligned}$$

Para os casos de base parcialmente comprimida pode-se calcular a pressão máxima utilizando tabela :

$$e_L/L = 0,19 \quad e_T/T = 0,14 \quad k = 3,279 \quad \sigma_{\max} = 0,444 \text{ MPa}$$